Сварка

В МАШИНОСТРОЕНИИ

СПРАВОЧНИК 3

Сварка
В МАШИНОСТРОЕНИИ

Справочник в 4 томах

Редакционная коллегия:

Заслуженный деятель науки и техники РСФСР,
Герой Социалистического Труда,
акад. АН СССР,
Лауреат Государственной премии Г. А. НИКОЛАЕВ (председатель);
чл. кор. АН УССР, д-р техн. наук В. И. МАХНЕНКО;
Заслуженный деятель науки и техники РСФСР,
д-р техн. наук проф. Н. А. ОЛЬШАНСКИЙ;
Лауреат Ленинской премии д-р техн. наук проф. А. И. АКУЛОВ;
д-р техн. наук проф. В. А. ВИНОКУРОВ;
канд. техн. наук доц. Ю. Н. ЗОРИН

Сварка
В МАШИНОСТРОЕНИИ

ТОМ 3

Под редакцией д-ра техн. наук
проф. В. А. ВИНОКУРОВА

502.94
Библиотека
ВФ МГТУ

Инв. №
ТЕХНИЧЕСКАЯ БИБЛИОТЕКА

Москва «Машиностроение» 1979

ББК 30.616
С24
УДК 621.791(035)

Авторы:

Д-р техн. наук проф. В. А. ВИНОКУРОВ, инж. А. Д. ГИТЛЕВИЧ, канд. техн. наук доц. К. А. ГРАЧЕВА, д-р техн. наук проф. В. Н. ЗЕМЗИН, канд. техн. наук доц. В. Т. ЗОЛОТЫХ, д-р техн. наук проф. С. А. КУРКИН, канд. техн. наук доц. Э. Л. МАКАРОВ, д-р техн. наук Н. А. МАХУТОВ, д-р техн. наук проф. Г. А. НИКОЛАЕВ, д-р техн. наук проф. В. М. САГАЛЕВИЧ, инж. И. Г. САЕНКО, д-р техн. наук проф. О. И. СТЕКЛОВ, д-р техн. наук проф. В. И. ТРУФЯКОВ, канд. техн. наук доц. Б. Ф. ЯКУШИН.

Рецензенты:

А. М. БОРОДИН, Е. И. ВОРОНЦОВА, Е. Л. ВОРОНОВ, К. М. ГАТОВСКИЙ, В. С. ИГНАТЬЕВА, А. И. КРАСОВСКИЙ, Б. Ф. ЛЕБЕДЕВ, Д. И. НАВРОЦКИЙ, Р. З. ШРОН, Ю. Ф. ЮРЧЕНКО

С24 **Сварка** в машиностроении: Справочник. В 4-х т./Редкол.: Г. А. Николаев (пред.) и др. — М.: Машиностроение, 1979 — т. 3/Под ред. В. А. Винокурова. 1979. 567 с., ил.

В пер.: 2 р. 60 к.

В третьем томе справочника рассмотрены свойства сварных соединений при статических, переменных нагрузках, при низких и высоких температурах, в условиях коррозионного воздействия. Изложены методы расчета и проектирования сварных соединений и конструкций, а также методы определения их прочности и пластичности; даны расчетные нормы, принятые в различных отраслях промышленности, способы определения сварочных деформаций и напряжений. Описаны рациональные технологические процессы при изготовлении сварных конструкций, принципы механизации и автоматизации сварочного производства. Изложены вопросы технического нормирования и экономики сварочного производства, проектирования сварочных цехов и охраны труда.

С $\frac{31206\text{-}608}{038(01)\text{-}79}$ подписное 2704070000 ББК 30.616
6П4.3

© Издательство «Машиностроение», 1979 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Глава 1. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ И НАПРЯЖЕНИЙ В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ *(Г. А. Николаев)* 9
Виды сварных соединений 9
Обозначение сварных соединений на чертежах 12
Напряжения 13
Глава 2. МАТЕРИАЛЫ *(В. М. Сагалевич)* 22
Конструкционные стали 22
Стали углеродистые обыкновенного качества 22
Низколегированные конструкционные стали 26
Углеродистые и легированные стали 28
Хромокремнемарганцовые стали 20
Хромомолибденовые стали 30
Высокопрочные стали 32
Стали с особыми свойствами 32
Теплоустойчивые стали 32
Коррозионно-стойкие стали для общего и химического машиностроения 33
Алюминиевые сплавы 37
Магниевые сплавы 38
Титановые сплавы 40
Список литературы 42
Глава 3. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ *(В. М. Сагалевич)* 43
Методы определения механических свойств 43
Свойства 47
Список литературы 80
Глава 4. ПРОЧНОСТЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ПЕРЕМЕННЫХ НАГРУЗКАХ *(В. И. Труфяков, Н. А. Махутов)* 81
Прочность сварных соединений при малоцикловом нагружении 81
Сопротивление циклическому упругопластическому деформированию 81
Сопротивление малоцикловому разрушению 87
Сопротивление развитию трещин 93
Расчетные зависимости 95
Сопротивление усталости сварных соединений при многоцикловом нагружении 98
Форма кривых усталости 98
Сопротивление соединений зарождению усталостных трещин 100
Сопротивление соединений распространению усталостных трещин 110
Список литературы 111
Глава 5. ХЛАДОСТОЙКОСТЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ *(В. А. Винокуров)* 112
Основные особенности поведения металлов и сварных соединений при низких температурах 112

Стр.

Оценка свойств сварных соединений и элементов конструкций при низких температурах . . . 113
Список литературы . . . 122

Глава 6. ЖАРОПРОЧНОСТЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ *(В. Н. Земзин)* . . . 123
Свойства основного металла . . . 123
Свойства сварных соединений . . . 126
Список литературы . . . 143

Глава 7. КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ И ПРОЧНОСТЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ *(О. И. Стеклов)* . . . 144
Виды и особенности коррозионных разрушений сварных соединений . . . 144
Методы оценки сопротивляемости сварных соединений коррозионному разрушению . . . 150
Пути повышения сопротивляемости сварных соединений и конструкций коррозионным разрушениям в агрессивных средах . . . 157
Рекомендации по расчету . . . 159
Список литературы . . . 161

Глава 8. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ *(Г. А. Николаев)* . . . 162
Допускаемые напряжения и их определение с учетом условий работы и свойств материала . . . 162
Расчет сварных соединений основных типов на статическую прочность . . . 164
Общие принципы конструирования . . . 169
Балки . . . 170
Стойки . . . 185
Фермы . . . 192
Листовые конструкции . . . 198
Сварные детали машин . . . 203

Глава 9. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ *(С. А. Куркин)* . . . 210
Заготовительные операции . . . 210
Сборочно-сварочные операции и проектирование приспособлений . . . 212
Балки . . . 214
Рамы . . . 220
Решетчатые конструкции . . . 221
Негабаритные емкости и сооружения . . . 223
Сосуды, работающие под давлением . . . 229
Сварные трубы . . . 232
Трубопроводы . . . 236
Корпусные листовые конструкции . . . 238
Сварные детали машин . . . 245
Список литературы . . . 253

Глава 10. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ *(А. Д. Гитлевич)* . . . 255
Оборудование для изготовления деталей сварных конструкций . . . 255
Оборудование для сборки сварных конструкций . . . 285
Механическое оборудование сварочного производства . . . 297
Оборудование для отделочных операций . . . 317
Подъемно-транспортное оборудование сварочных цехов . . . 323
Список литературы . . . 328

Стр.

Глава 11. МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА *(А. Д. Гитлевич)* . . . 329
Определение уровня механизации и автоматизации . . . 329
Механизация заготовительных работ . . . 331
Механизация сборочно-сварочных работ . . . 335
Список литературы . . . 347

Глава 12. ДЕФОРМАЦИИ, НАПРЯЖЕНИЯ И ПЕРЕМЕЩЕНИЯ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ СВАРКЕ КОНСТРУКЦИЙ *(В. А. Винокуров)* . . . 348
Основные понятия и положения . . . 348
Сварочные деформации и напряжения и методы их определения . . . 351
Перемещения, возникающие при сварке конструкций . . . 359
Список литературы . . . 381

Глава 13. МЕТОДЫ УМЕНЬШЕНИЯ СВАРОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ, НАПРЯЖЕНИЙ И ПЕРЕМЕЩЕНИЙ *(В. А. Винокуров)* 383
Влияние сварочных деформаций, напряжений и перемещений на процесс изготовления и качество конструкций 383
Методы уменьшения сварочных напряжений и пластических деформаций в металле . . . 385
Методы уменьшения перемещений в элементах конструкций от сварки . . . 388
Список литературы . . . 392

Глава 14. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ МЕТАЛЛОВ ПРИ СВАРКЕ *(Э. Л. Макаров, Б. Ф. Якушин)* . . . 393
Технологическая прочность в процессе кристаллизации (горячие трещины) . . . 393
Основы теории . . . 393
Классификация и анализ методов определения технологической прочности металлов в процессе кристаллизации 402
Способы повышения технологической прочности сварных соединений в процессе кристаллизации . . . 411
Технологическая прочность в процессе фазовых и структурных превращений в твердом состоянии (холодные трещины) . . . 414
Закономерности процесса образования холодных трещин 414
Методы оценки сопротивляемости сталей образованию холодных трещин . . . 419
Способы повышения сопротивляемости сталей образованию холодных трещин . . . 431
Список литературы . . . 434

Глава 15. ОРГАНИЗАЦИЯ И ЭКОНОМИКА СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА *(К. А. Грачева)* . . . 436
Длительность производственного цикла изготовления сварных конструкций (сложного процесса) . . . 436
Разновидности поточных линий комплексно-механизированного и автоматизированного сварочного производства и их расчетные параметры . . . 439
Факторы, влияющие на уровень использования производственных мощностей поточных линий комплексно-механизированного и автоматизированного сварочного производства (на примере пролетных балок) . . . 446
Оптимизация мощностей поточных линий по частным критериям . . . 451
Расчет производственных мощностей сварочных цехов . . . 453

Стр.

Премирование работников сварочных цехов за освоение проектных мощностей 455
Технические нормы времени и их характеристики 456
Методы технического нормирования 457
Нормирование ручной электродуговой сварки 458
Нормирование полуавтоматической и автоматической сварки под флюсом 460
Нормирование электрошлаковой сварки 462
Нормирование контактной сварки 463
Нормирование ацетилено-кислородной сварки 464
Нормирование газовой резки 466
Нормирование расхода электродов, электродной проволоки, флюса и электроэнергии при дуговой сварке 466
Порядок разработки и использование технически обоснованных норм 469
Методы измерения объема производства сварных конструкций и показатели производительности труда 471
Экономические расчеты на стадии проектирования и производства сварных конструкций 481
Экономические расчеты на стадии разработки (совершенствования и анализа) вариантов технологических процессов изготовления сварных конструкций 485
Экономические расчеты при проектировании, изготовлении и эксплуатации машин и оборудования для производства сварных конструкций 495
Экономические расчеты при оценке уровня использования основных фондов сварочных цехов и рентабельности сварочного производства 495
Экономические обоснования некоторых видов новой техники (расчетные формулы) 498
Список литературы 500

Глава 16. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦЕХОВ СВАРНЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ *(И. Г. Саенко)* 502
Заготовительное производство 502
Сварочное производство 514

Глава 17. ОХРАНА ТРУДА *(В. Т. Золотых)* 532
Санитарно-гигиенические характеристики сварочного производства 532
Воздушная среда и микроклимат. Вентиляция 533
Освещение производственных помещений 545
Защита от производственного шума, ультразвука и вибраций 545
Защита от ионизирующих излучений 547
Электробезопасность 549
Безопасность газосварочных установок и систем, находящихся под давлением 554
Индивидуальные средства защиты 558
Список литературы 559
Предметный указатель 561

Глава 1

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ И НАПРЯЖЕНИЙ В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ

ВИДЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Дуговой сваркой выполняют следующие виды соединений:

стыковые с помощью стыковых швов, укладываемых при отсутствии разделок, при предварительных разделках (V-образной, X-образной, U-образной), а также по отбортовке; стыковые швы направлены, как правило, перпендикулярно к усилиям и в редких случаях под углом;

угловые с различной степенью проплавления — при наличии и отсутствии глубокого проплавления (рис. 1);

угловые швы используют часто в нахлесточных соединениях;

они называются лобовыми, если расположены перпендикулярно к усилию N (рис. 2, *а — в*); фланговыми, если расположены вдоль усилия (рис. 2, *г*); косыми, если направлены под углом к усилию (рис. 2, *д*), и комбинированными (рис. 2, *е, ж*);

угловые швы применяют также в тавровых соединениях, без подготовки кромок (рис. 3, *а*) и с предварительной подготовкой кромок (рис. 3, *б* и *в*);

проплавные — с помощью электрозаклепок за счет проплавления основного металла (рис. 4, *а*) и при наличии предварительного изготовления отверстия с последующим заполнением наплавленным металлом (рис. 4, *б*).

Контактной сваркой выполняют:

стыковые соединения пропусканием электрического тока через соединяемые элементы методом сопротивления или с оплавлением (рис. 5, *а — в*);

точечные соединения, свариваемые односторонним и двусторонним способом (рис. 6, *а*); точками соединяют детали плоские (рис. 6, *б* и *в*), цилиндрические (рис. 6, *г* и *д*), плоские с цилиндрическими (рис. 6, *е*);

рельефные соединения (рис. 7);

шовные, свариваемые роликом при непрерывной или шаговой подаче.

Электронно-лучевой сваркой, сваркой трением и диффузионной сваркой сваривают преимущественно стыковые соединения.

Газовой сваркой выполняют, как правило, стыковые соединения: без разделки; с отбортовкой кромок, с V-образной разделкой.

Пайкой осуществляют соединения встык прямым, косым или ступенчатым швами (рис. 8, *а*), внахлестку (рис. 8, *б*), втавр (рис. 8, *в*), телескопического типа на трубах (рис. 8, *г*).

При электрошлаковой сварке получают соединения стыковое (рис. 9, *а*), тавровое (рис. 9, *б* и *в*) и угловое (рис. 9, *г* и *д*).

Соединения полимеров осуществляют горячим воздухом встык, горячим лезвием встык и нахлесточные, ультразвуком (точками, швом, сваркой по контуру).

Все виды сварных соединений можно выполнять автоматической, полуавтоматической и ручной сваркой. Каждый вид сварки по-своему влияет на формирование соединений. Способы сварки выбирают в зависимости от геометрических размеров изделий и физико-механических свойств соединяемых материалов.



Рис. 1. Угловые швы с проплавлением и треугольного очертания

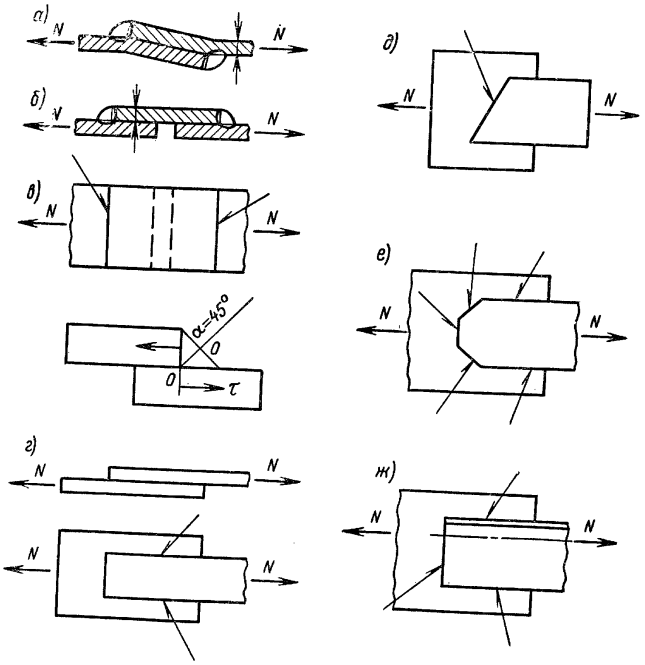


Рис. 2. Соединения угловыми швами

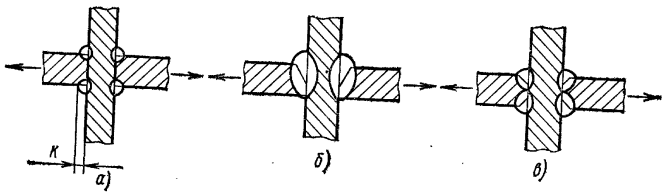


Рис. 3. Тавровые соединения

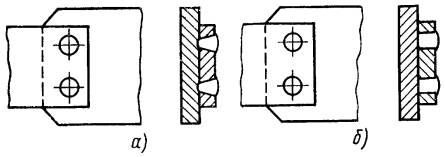


Рис. 4. Соединения электрозаклепками

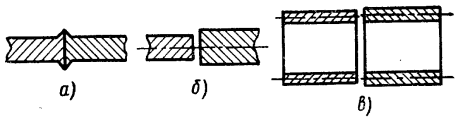


Рис. 5. Соединения стыковой контактной сваркой

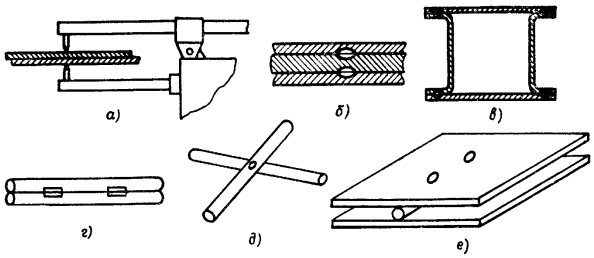


Рис. 6. Соединения точечной контактной сваркой

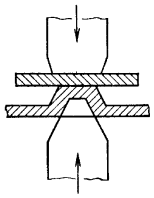


Рис. 7. Соединения рельефные

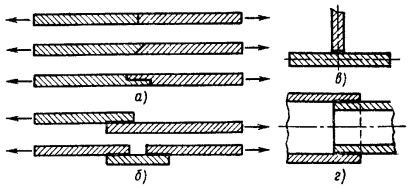


Рис. 8. Паяные соединения

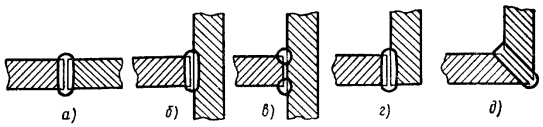


Рис. 9. Соединения электрошлаковой сваркой

ОБОЗНАЧЕНИЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ЧЕРТЕЖАХ

Сварные соединения обозначают по ГОСТ 2.312—72.

Пример. Указываются № ГОСТа, тип соединения, метод и способ сварки, катет шва, длина или шаг, особые обозначения. На рис. 10 приведено обозначение шва таврового двустороннего соединения, выполненного по замкнутому контуру электродуговой сваркой в углекислом газе плавящимся электродом. Шов прерывистый, с шахматным расположением участков. Катет шва 6 мм, длина проваренного участка 50 мм, шаг 150 мм.

Соединения обозначают: С — стыковое, У — угловое, Т — тавровое, Н — нахлесточное, О — особые типы, если форма шва не предусмотрена ГОСТом. Цифры возле букв, например С33, Т4, указывают порядковый номер шва в ГОСТе, вид соединения и шва, а также форму разделки кромок.

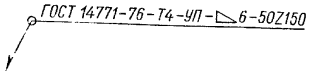


Рис. 10. Условные обозначения шва таврового соединения

Способы сварки имеют следующие обозначения: Э — электродуговая, Г — газовая, Ш — электрошлаковая, И — в инертных газах, Уз — ультразвуковая, Тр — трением, Х — холодная, Дф — диффузионная, К — контактная, Эл — электронно-лучевая, Лз — лазерная, Вз — взрывом, Пз — плазменная, У — в углекислом газе.

Буква перед обозначением вида сварки обозначает: Р — ручная, А — автоматическая, Т — полуавтоматическая.

Для автоматической сварки приняты следующие обозначения: А — автоматическая сварка под флюсом без применения подкладок и подушек и подварочного шва, Аф — автоматическая сварка под флюсом на флюсовой подушке, Ам — автоматическая сварка под флюсом на флюсо-медной подкладке, Ас — автоматическая сварка под флюсом — на стальной подкладке, Апш — автоматическая сварка под флюсом с предварительным наложением подварочного шва, Апк — автоматическая сварка под флюсом с предварительной подваркой корня шва.

Для полуавтоматической сварки используют те же обозначения, но с буквой П.

ИН — сварка в инертных газах вольфрамовым электродом без присадочного металла.

ИНп — то же, с присадочным металлом.

1. Условные обозначения швов для некоторых способов сварки

ГОСТ	Соединение	Толщина свариваемых деталей, мм	Условные обозначения швов
5264—69. Швы сварных соединений, ручная дуговая сварка	Стыковое	1—100	С1—С25
	Тавровое	2—100	Т1—Т11
	Нахлесточное	2—60	Н1—Н3
	Угловое	1—50	У1—У10
8713—70. Швы сварных соединений, автоматическая и полуавтоматическая сварка под флюсом	Стыковое	1,5—160	С1—С34
	Тавровое	3—60	Т1—Т13
	Нахлесточное	1—40	Н1—Н6
	Угловое	1,5—40	У1—У4
14771—76. Швы сварных соединений, сварка в защитных газах	Стыковое	0,5—120	С1—С27
	Тавровое	1—100	Т1—Т10
	Нахлесточное	1—36	Н1—Н4
	Угловое	1—100	У1—У10

ИП — сварка в инертных газах плавящимся электродом.

УП — сварка в углекислом газе плавящимся электродом.

Для контактной сварки применяют следующие обозначения: Кт — точечная, Кр — роликовая, Кс — стыковая, Ксс — стыковая сопротивлением, Ксо — стыковая оплавлением.

Условные обозначения швов сварных соединений установлены государственными стандартами (табл. 1).

НАПРЯЖЕНИЯ

В сварных швах возникают напряжения: связующие (рис. 11, *а*, *б*), вследствие совместной деформации наплавленного и основного металла, и рабочие (рис. 11, *в* и *г*), передающие усилия с одного элемента на другой. Связующие напряжения при расчете прочности сварных конструкций не учитывают.

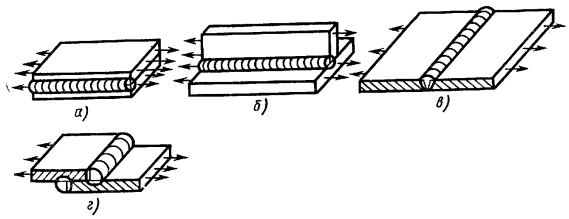


Рис. 11. Примеры связующих и рабочих напряжений

В стыковых соединениях при обработке швов, обеспечивающей гладкие поверхности, и отсутствии внутренних дефектов — непроваров, трещин, пор и т. д., напряжения от продольной силы распределяются равномерно по поперечному сечению соединяемых элементов:

$$\sigma = \frac{P}{ls}, \qquad (1)$$

где P — растягивающая или сжимающая сила; l — длина шва; s — толщина основного металла.

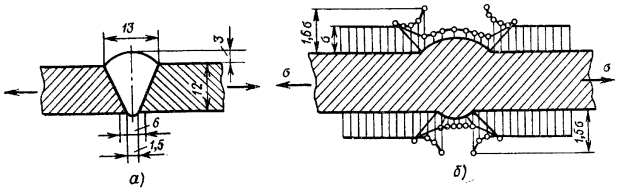


Рис. 12. Схема распределения напряжений в стыковом шве

Если поверхность шва имеет форму, приведенную на рис. 12, *а*, то распределение напряжений по сечению шва становится неравномерным. Распределение напряжений в зоне стыкового шва, полученное опытным путем, показано на рис. 12, *б*.

Теоретическим путем установлено, что концентрация напряжений зависит от формы стыкового шва, определяемой величиной

$$m = uv; \tag{2}$$

$$u = \sqrt{\frac{\Delta s + s}{\Delta s^2 s}}, \tag{3}$$

где Δs — утолщение в зоне шва; v — половина ширины шва.

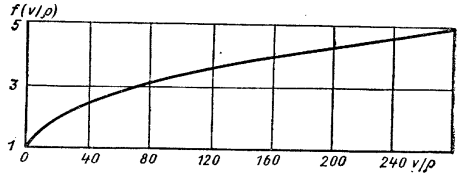


Рис. 13. Вид функции $f\left(\frac{v}{\rho}\right)$

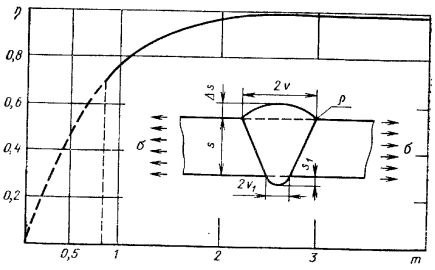


Рис. 14. Вид функции η

В случае $m \leqslant 3$ коэффициент концентрации формы шва

$$\alpha_ф = f\left(\frac{v}{\rho}\right)\eta, \tag{4}$$

где ρ — радиус закругления в зоне сопряжения шва с основным металлом, определяется измерением; функция $f\left(\frac{v}{\rho}\right)$ приведена на рис. 13; η — функция коэффициента m (рис. 14).

При $m \geqslant 3$ коэффициент концентрации формы шва

$$\alpha_ф = f\left(\frac{v^*}{\rho}\right). \tag{5}$$

При этом v^* определяется не как половина ширины шва, а как $3/u$.

Пример. $s = 30$ мм, $\Delta s = 3$ мм, $2v = 30$ мм, $\rho = 0{,}3$ мм, $u = 0{,}35$ 1/мм, $m = 5{,}2$ 1/мм, $\eta = 1{,}0$, $v/\rho = 8{,}5/0{,}3 = 28{,}3$. По рис. 13 $f\left(\frac{v}{\rho}\right) = 2{,}2$. Таким образом, $\alpha_ф = 2{,}2 \cdot 1 = 22{,}2$.

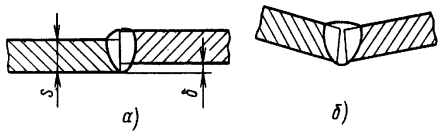


Рис. 15. Дефекты формы в стыковых соединениях

При смещении кромок стыкуемых элементов в стыковых соединениях (рис. 15, *а*) возникает концентрация напряжений, определяемая коэффициентом $\alpha_{см} = 1 + 3\varepsilon$, где $\varepsilon = \delta/s$; δ — смещение; s — толщина элемента.

Результирующий коэффициент концентрации напряжений в стыковых соединениях вследствие нерационального очертания шва и наличия смещения кромок

$$\alpha_{рез} = \alpha_ф \alpha_{см}. \tag{6}$$

Указанная концентрация напряжений имеет место при работе соединения в области упругих деформаций.

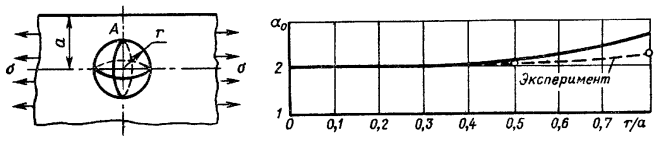


Рис. 16. Коэффициенты α_0 концентрации около сферической поры

В результате местного изгиба, вызванного при сварке встык, остаточными деформациями (рис. 15, *б*) образуются также напряжения изгиба.

Напряжения концентрируются также в стыковых соединениях в зоне пор (в зависимости от их размеров, положения, расстояния между ними, направления действия сил). Концентрация напряжений зависит от формы пор (сферической, цилиндрической и т. д.). Концентрация напряжений в зоне сферических пор в 1,5 раза меньше концентрации в зоне цилиндрической поры того же радиуса и аналогичного положения.

Коэффициенты α_0 концентрации напряжений (полученные опытным путем) около сферической поры в зависимости от расстояния от ее центра до свободной поверхности при работе в пределах упругих деформаций приведены на рис. 16. Угловые швы имеют треугольную форму. В результате проплавления основного металла их форма изменяется. Минимальные размеры катета шва определяются толщиной основного металла и классом стали (табл. 2).

2. Минимальный катет швов, мм

s, мм	Стали	
	С 38/23, С 60/45	С 44/29, С 85/75
7—12	4	6
11—22	6	8
28—32	8	10
33—50	10	12
150	12	—

Минимальная длина нахлестки между лобовыми швами $5\,s_{min}$. Минимальная длина углового шва $4K$ и в то же время больше или равна 40 мм. Расчетную длину принимают на 10 мм меньше фактической. При расчете угловых швов расчетную толщину принимают βK. В зависимости от технологического процесса сварки $\beta = 1$ для однопроходной автоматической сварки; $\beta = 0{,}9$ для двух- и трехпроходной автоматической сварки; $\beta = 0{,}85$ для однопроходной полуавтоматической сварки; $\beta = 0{,}8$ для двух- и трехпроходной полуавтоматической сварки; $\beta = 0{,}7$ для многопроходной автоматической и ручной сварки.

Соотношения размеров угловых швов: фланговых 1 : 1; лобовых 1 : 1 в сталях С38/23 и С52/40 при статических нагрузках; 1 : 1,5 в сталях С60/45 и С85/75, а также в конструкциях всех сталей, работающих при $T \leqslant 40°$ С и в условиях динамических нагрузок.

Распределение напряжений в соединениях с лобовыми швами в различных сечениях показано на рис. 17. Наибольшая концентрация наблюдается в сечении $A - A$.

Усилия между лобовыми швами в нахлесточных соединениях распределяются равномерно при элементах равных толщин. При неравных толщинах элементов (рис. 18)

$$\frac{P_2}{P_1} = 1 + \frac{s_2 - s_1}{s_1}\,\frac{0{,}66l}{0{,}66l + 2s_2}, \qquad (7)$$

где P_1 — усилие в элементе меньшей толщины, передаваемое швом *1*; P_2 — усилие в элементе большей толщины, передаваемое швом *2*; s_1 и s_2 — соответственно меньшая и большая толщины соединяемых частей; l — длина нахлесточного соединения.

Концентрация напряжений наблюдается в основном металле в зоне угловых швов тавровых соединений (рис. 19, *а* и *б*); коэффициент концентрации при изгибе

$$\alpha = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{cp}} = 1 + 0{,}18\left(\frac{s}{\rho}\right)^{0{,}66}. \qquad (8)$$

В соединениях с фланговыми швами напряжения распределяются неравномерно (рис. 20, *а* и *б*).

При соединении элементов относительно небольшой ширины напряжения распределяются крайне неравномерно вдоль фланговых швов. В соединениях элементов, у которых площади поперечных сечений $f_1 = f_2 = F$, усилие во фланговых швах в сечении с координатой x на единицу длины

$$q_x = \frac{\alpha P}{4}\left[\frac{\operatorname{ch}\alpha x + \operatorname{ch}\alpha\,(l - x)}{\operatorname{sh}\alpha l}\right], \qquad (9)$$

где l — длина флангового шва; P — растягивающая сила;

$$\alpha = \sqrt{\frac{4G}{EF}}, \qquad (10)$$

где E — модуль упругости при растяжении; G — модуль упругости при сдвиге. Наибольшие усилия при $x = 0$ и $x = l$

$$q_{max} = \frac{\alpha P}{4}\,\frac{1 + \operatorname{ch}\alpha l}{\operatorname{sh}\alpha l}. \qquad (11)$$

При больших αl $q_{max} \approx \frac{\alpha P}{4}$.

При $|\tau'| = 0{,}6\,|\sigma|_p$ и при швах в форме равнобедренного треугольника коэффициент концентрации напряжений во фланговых швах

$$\frac{q_{max}}{q_{cp}} = 0{,}57\sqrt{\frac{l}{\beta K}}. \qquad (12)$$

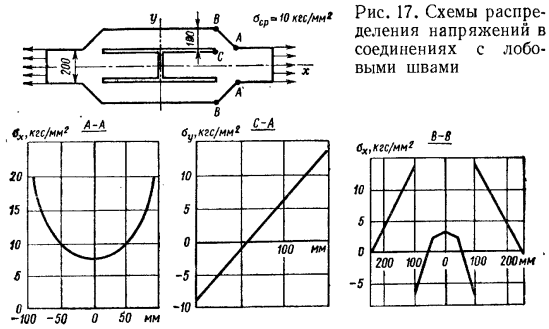


Рис. 17. Схемы распределения напряжений в соединениях с лобовыми швами

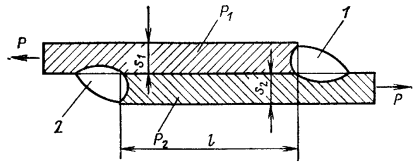


Рис. 18. Нахлесточное соединение

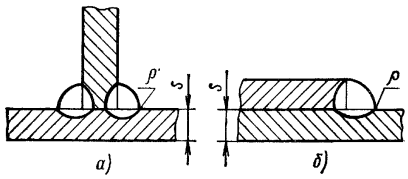


Рис. 19. Соединения с угловыми швами

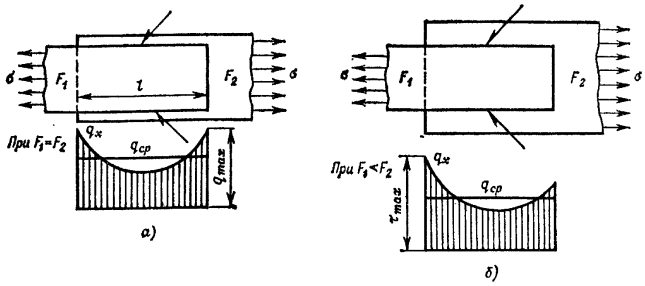


Рис. 20. Схемы распределения напряжений в соединениях с фланговыми швами

50294

При неравновеликих поперечных сечениях соединяемых элементов, например при $F_1 < F_2$, усилие на единицу длины

$$q_x = \frac{\alpha P}{2} \frac{F_1 \operatorname{ch} \alpha x + F_2 \operatorname{ch} \alpha (l-x)}{(F_1+F_2) \operatorname{sh} \alpha l}, \quad (13)$$

где

$$\alpha = \sqrt{\frac{2G(F_1+F_2)}{EF_1F_2}}. \quad (14)$$

При $x=0$

$$q_0 = \frac{\alpha P}{2} \frac{F_1+F_2 \operatorname{ch} \alpha l}{(F_1+F_2) \operatorname{sh} \alpha l}; \quad (15)$$

при $x=l$

$$q_l = \frac{\alpha P}{2} \frac{F_1 \operatorname{ch} \alpha l + F_2}{(F_1+F_2) \operatorname{sh} \alpha l}. \quad (16)$$

При $F_1 < F_2$ $q_0 > q_l$, т. е. наибольшее q наблюдается со стороны меньшего поперечного сечения.

При $|\tau'| = 0{,}6\,[\sigma]_р$ коэффициент концентрации напряжений наибольший

$$k_т = 0{,}87 \sqrt{\frac{1}{1+\mu} \frac{\mu \operatorname{ch} \alpha l + 1}{\operatorname{sh} \alpha l}}; \quad (17)$$

$$\mu = \frac{F_1}{F_2}.$$

Максимальная расчетная длина флангового шва 60 K.

При работе соединения в области пластической деформации напряжения по длине швов выравниваются. В соединяемых элементах относительно большой

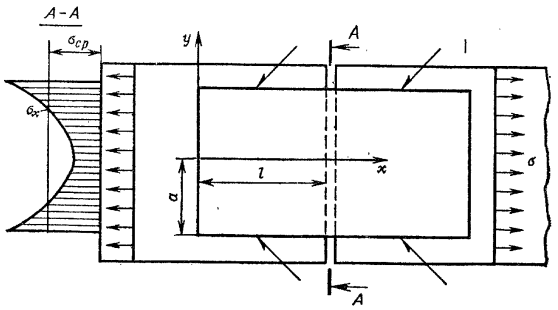


Рис. 21. Схемы распределения нормальных напряжений по ширине соединяемых элементов

ширины напряжения по ширине участка между фланговыми швами (рис. 21) распределяются неравномерно.

Напряжение в поперечном сечении накладки по оси симметрии

$$\sigma = 2{,}3\tau_0 \frac{\operatorname{ch} \vartheta y}{\operatorname{sh} \vartheta a}, \quad (18)$$

$\vartheta = \frac{2{,}3}{l}$; l — половина длины накладки; среднее напряжение во фланговых швах

$$\tau_0 = \frac{P}{2\beta K l},$$

P — продольное усилие; $\beta = 0{,}7 \div 1$ — коэффициент, учитывающий глубину провара; K — катет шва.

Наибольшее напряжение

$$\sigma_{max} = 2{,}3\tau_0 \operatorname{cth} 2{,}3a/l. \quad (19)$$

Максимальный коэффициент концентрации напряжений

$$k_{max} = 3{,}3 \frac{\operatorname{cth} 2{,}3 \frac{a}{l}}{l/a}. \quad (20)$$

Коэффициент k_{max} зависит от отношения a/l:

a/l	0,1	0,5	1,0	2,0
k_{max}	1,45	2,01	3,37	6,61

В длинных фланговых швах при узких элементах концентрация напряжений возникает главным образом на концах фланговых швов и в меньшей степени на участке между швами.

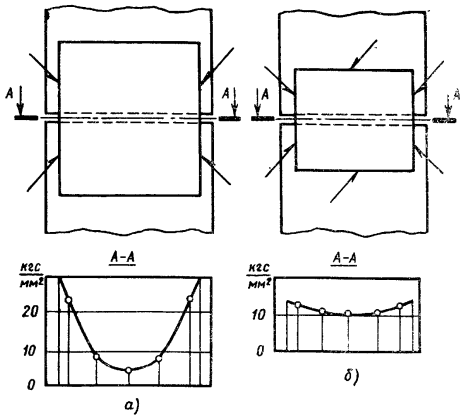


Рис. 22. Схемы распределения нормальных напряжений в элементах с комбинированными соединениями

При коротких фланговых швах и широких элементах напряжения концентрируются преимущественно в зоне металла, примыкающей к швам, и в меньшей степени в самих швах.

Лобовые швы комбинированного соединения значительно уменьшают концентрацию напряжений в основных элементах между фланговыми швами (рис. 22, *а* и *б*). Все сказанное относится к работе соединений в зоне упругих деформаций.

Концентрация напряжений в пластической стадии уменьшается, и распределение напряжения выравнивается.

Концентрация напряжений в соединениях, выполненных контактной стыковой сваркой, как правило, совершенно незначительна. Источником концентрации могут явиться лишь технологические дефекты (непровары, трещины, смещения кромок и т. д.).

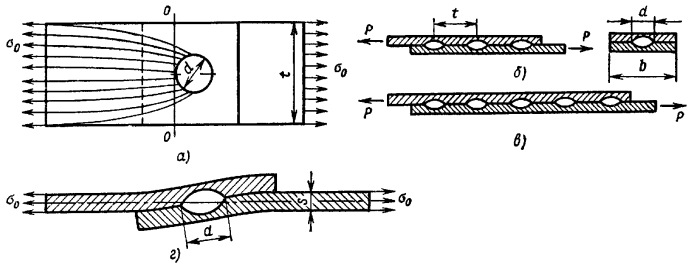


Рис. 23. Схемы распределения напряжений в соединении со сварными точками

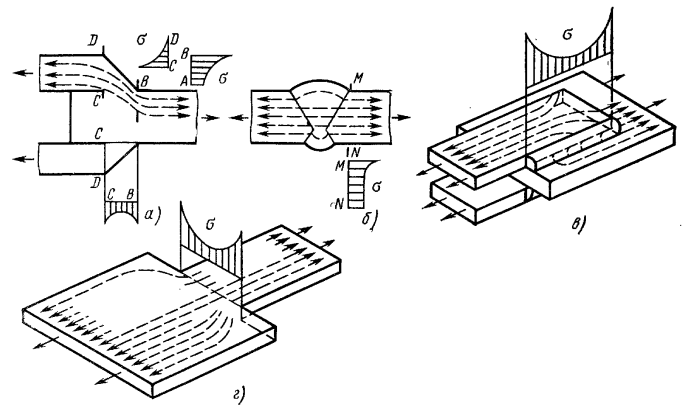


Рис. 24. Эпюры распределения нормальных напряжений в сварных соединениях и источники концентрации напряжений при работе соединения в упругой стадии:

а — в нахлесточном соединении; *б* — в стыковом соединении; *в* — во фланговом шве нахлесточного соединения; *г* — в соединении двух полос разной ширины

В точечных соединениях, выполненных контактной и дуговой сваркой, концентрация напряжений значительна и вызывается несколькими факторами:

а) в результате сгущения силовых линий в основном металле над сварочной точкой; коэффициент концентрации напряжений при этом колеблется в пределах (рис. 23, *а*) $0{,}62\ t/d \leqslant k \leqslant t/d$, и приближенно

$$k = 0{,}38 + 0{,}62\ t/d, \tag{21}$$

где d — диаметр сварной точки; t — расстояние между сварными точками в направлении, перпендикулярном к силовому потоку;

б) усилия в отдельных сварных точках, расположенных в продольном ряду (рис. 23, *б* и *в*), по отношению к действующей силе при равновеликих площадях соединяемых элементов распределяются следующим образом:

при трех точках (см. рис. 23, *б*)

$$P_1 = P_3 = \frac{m+1}{2m+3}\,P; \tag{22}$$

$$P_2 = \frac{1}{2m+3}\,P; \tag{23}$$

при пяти точках (см. рис. 23, *в*)

$$P_1 = P_5 = \frac{2m^2+4m+1}{4m^2+10m+5}\,P; \tag{24}$$

$$P_2 = P_4 = \frac{m+1}{4m^2+10m+5}\,P; \tag{25}$$

$$P_3 = \frac{1}{4m^2+10m+5}\,P, \tag{26}$$

где P — усилие в соединении; $m = t/s\xi$; расстояние между сварными точками в продольном ряду

$$\xi = \frac{1}{0{,}53\,(\ln b/d - 0{,}46)}, \tag{27}$$

где b — ширина элемента; d — диаметр сварной точки; при $t = b = 3d$, $\xi = 2{,}95$.

При этих условиях усилия между точками распределяются следующим образом (табл. 3);

3. Усилия между точками

Номер точки	Число точек в продольном ряду		
	3	4	5
1	0,444*P*	0,436*P*	0,435*P*
2	0,112*P*	0,064*P*	0,058*P*
3	0,444*P*	0,064*P*	0,014*P*
4	—	0,436*P*	0,058*P*
5	—	—	0,433*P*

в) дополнительные напряжения в основном металле в зоне соединения появляются в результате изгиба (рис. 23, *г*).

Напряжения от изгиба

$$\sigma = \frac{3\sigma_0}{1 + \frac{d}{s}\sqrt{\frac{3\sigma_0}{E}}}, \tag{28}$$

σ_0 — среднее напряжение в основном металле.

При $\sigma_0/E = 1/1000$

$$\sigma = \frac{3\sigma_0}{1 + 0{,}055\,\frac{d}{s}}. \tag{29}$$

С уменьшением толщины напряжения от изгиба уменьшаются.

Эпюры распределения напряжений в сварных соединениях и источники концентрации напряжений при работе в упругой стадии приведены на рис. 24. В пластической зоне происходит выравнивание напряжений. В зонах дефектов кроме концентрации напряжений наблюдается резко выраженная концентрация деформаций.

Глава 2
МАТЕРИАЛЫ

КОНСТРУКЦИОННЫЕ СТАЛИ

СТАЛИ УГЛЕРОДИСТЫЕ ОБЫКНОВЕННОГО КАЧЕСТВА

Для изготовления металлоконструкций и деталей машин общего назначения применяют углеродистую сталь обыкновенного качества: горячекатаную — сортовую, фасонную, толстолистовую, тонколистовую, широкополосную (универсальную) и холоднокатаную — тонколистовую (ГОСТ 380—71).

В зависимости от назначения сталь подразделяют на три группы: А — поставляемую по механическим свойствам; Б — поставляемую по химическому составу; В — поставляемую по механическим свойствам и химическому составу.

В зависимости от нормируемых показателей сталь каждой группы подразделяют на категории: группы А — 1, 2, 3; группы Б — 1, 2; группы В — 1, 2, 3, 4, 5, 6.

Сталь изготовляют следующих марок: группы А — Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6; группы Б — БСт0, БСт1, БСт2, БСт3, БСт4, БСт5, БСт6; группы В — ВСт1, ВСт2, ВСт3, ВСт4, ВСт5.

Сталь всех групп с номерами марок 1, 2, 3 и 4 по степени раскисления изготовляют кипящей, полуспокойной и спокойной, с номерами 5 и 6 — полуспокойной и спокойной. Полуспокойную сталь с номерами марок 3 и 5 производят с обычным и повышенным содержанием марганца. Стали марок Ст0 и БСт0 по степени раскисления не разделяют.

Для обозначения степени раскисления к обозначению марки стали после номера марки добавляют индексы: кп — кипящая, пс — полуспокойная, сп — спокойная. Нормируемые показатели для стали группы А приведены в табл. 1, а механические свойства стали — в табл. 2.

1. Нормируемые показатели для стали группы А

Категории стали	Марки стали всех степеней раскисления и с повышенным содержанием марганца	Временное сопротивление	Относительное удлинение	Изгиб в холодном состоянии	Предел текучести
1	Ст0—Ст6	+	+	—	—
2		+	+	+	—
3	Ст2—Ст5	+	+	+	—

Примечание. Знак + означает, что показатель нормируется, знак — означает, что показатель не нормируется.

Нормируемыми показателями для стали группы Б является химический состав по содержанию C, Mn, Si, Ni, Cr, Cu (табл. 3 и 4); допускаемые отклонения по химическому составу приведены в табл. 5.

2. Механические свойства стали

Марки стали	$\sigma_в$, кгс/мм²	$\sigma_т$, кгс/мм² для толщин, мм				δ_5, % для толщин, мм			Изгиб на 180° (a — толщина образца; d — диаметр оправки) для толщин до 20 мм*
		до 20	св. 20 до 40	св. 40 до 100	св. 100	до 20	св. 20 до 40	св. 40	
		не менее							
Ст0	Не менее 31	—	—	—	—	23	22	20	$d = 2a$
Ст1кп	31—40	—	—	—	—	35	34	32	
Ст1пс, Ст1сп	32—42	—	—	—	—	34	33	31	$d = 0$ (без оправки)
Ст2кп	33—42	22	21	20	19	33	32	30	
Ст2пс, Ст2сп	34—42	23	22	21	20	32	31	29	
Ст3кп	37—47	24	23	22	20	27	26	24	$d = 0{,}5a$
Ст3пс, Ст3сп	38—49	25	24	23	21	26	25	23	
Ст3Гпс	38—50	25	24	23	21	26	25	23	
Ст4кп	41—52	26	25	24	23	25	24	22	$d = 2a$
Ст4пс, Ст4сп	42—54	27	26	25	24	24	23	21	
Ст5пс, Ст5сп	50—64	29	28	27	26	20	19	17	$d = 3a$
Ст5Гсп	46—60	29	28	27	26	20	19	17	
Ст6пс, Ст6сп	Не менее 60	32	31	30	30	15	14	12	—

* Для образца толщиной свыше 20 мм диаметр оправки увеличивается на толщину образца.

3. Химический состав стали по плавочному анализу ковшовой пробы, %

Марки стали	C	Mn	Si
БСт0	Не более 0,23	—	—
БСт1кп	0,06—0,12	0,25—0,50	Не более 0,05
БСт1пс	0,06—0,12	0,25—0,50	0,05—0,17
БСт1сп	0,06—0,12	0,25—0,50	0,12—0,30
БСт2кп	0,09—0,15	0,25—0,50	Не более 0,07
БСт2пс	0,09—0,15	0,25—0,50	0,05—0,17
БСт2сп	0,09—0,15	0,25—0,50	0,12—0,30
БСт3кп	0,14—0,22	0,30—0,60	Не более 0,07
БСт3пс	0,14—0,22	0,40—0,65	0,05—0,17
БСт3сп	0,14—0,22	0,40—0,65	0,12—0,30
БСт3Гпс	0,14—0,22	0,80—1,10	Не более 0,15
БСт4кп	0,18—0,27	0,40—0,70	Не более 0,07
БСт4пс	0,18—0,27	0,40—0,70	0,05—0,17
БСт4сп	0,18—0,27	0,40—0,70	0,12—0,30
БСт5пс	0,28—0,37	0,50—0,80	0,05—0,17
БСт5сп	0,28—0,37	0,50—0,80	0,15—0,35
БСт5Гсп	0,22—0,30	0,80—1,20	Не более 0,15
БСт6пс	0,38—0,49	0,50—0,80	0,05—0,17
БСт6сп	0,38—0,49	0,50—0,80	0,15—0,35

Примечание. Все приведенные в таблице стали, кроме стали БСт0, содержат 0,04P; 0,05S; 0,30Cr; 0,30Ni; 0,30Cu; 0,1Al. Сталь БСт0 содержит 0,07P; 0,06S.

4. Нормируемые показатели для стали группы Б

Категория стали	Марки стали всех степеней раскисления и с повышенным содержанием марганца	Содержание углерода, марганца, фосфора, серы, мышьяка, азота, кремния	Содержание хрома, никеля, меди
1	БСт0—БСт6	+	–
2	БСт1—БСт6	+	+

Примечание. 1. Для стали БСт0 нормируется только содержание углерода, фосфора и серы.
2. Знак + означает, что показатель нормируется, знак — означает, что показатель не нормируется.

5. Допускаемые отклонения по химическому составу в готовом прокате

Элементы	Допускаемые отклонения для стали, %	
	кипящей	полуспокойной и спокойной
Углерод	±0,03	+0,03 −0,02
Марганец	+0,05 −0,04	+0,05 −0,03
Кремний	—	+0,03 −0,02
Фосфор	+0,006	+0,005
Сера	+0,006	+0,005

Примечание. В сталях марок БСт3 всех степеней раскисления и БСт3Гпс, поставляемых по требованиям заказчика с гарантией свариваемости, плюсовые отклонения по углероду не допускаются.

6. Нормируемые показатели для стали группы В

Категория стали	Марки стали всех степеней раскисления и с повышенным содержанием марганца	Химический состав	$\sigma_в$	$\sigma_т$	δ_5	Изгиб в холодном состоянии	$a_н$ при температуре, °С: +20	$a_н$ при температуре, °С: −20	$a_н$ после механического старения
1	ВСт1—ВСт5	+	+	+	–	+	–	–	–
2	ВСт2—ВСт5	+	+	+	+	+	–	–	–
3	ВСт3—ВСт4	+	+	+	+	+	+	–	–
4		+	+	+	+	+	–	+	–
5	ВСт3	+	+	+	+	+	–	+	+
6		+	+	+	+	+	–	–	+

Примечание. 1. Сталь категорий 3, 4, 5 и 6 поставляется спокойной и полуспокойной. По соглашению сторон допускается поставлять кипящие стали марок ВСт3 и ВСт4 категории 3; при этом нормы ударной вязкости при +20 °С принимают в соответствии с нормами для спокойной и полуспокойной стали марок ВСт3 и ВСт4.
2. Знак + означает, что показатель нормируется, знак — означает, что показатель не нормируется.

Нормируемые показатели для стали группы В приведены в табл. 6.

Сталь маркируют несмываемой краской; при этом независимо от группы и степени раскисления используют следующие цвета:

Марка стали	Цвет маркировки	Марка стали	Цвет маркировки
Ст0	Красный и зеленый	Ст4	Черный
Ст1	Белый и черный	Ст5	Зеленый
Ст2	Желтый	Ст6	Синий
Ст3	Красный	Ст3Гпс	Красный и синий
		Ст5Гпс	Зеленый и белый

7. Назначение и общая характеристика сталей

Марка стали	Назначение
14ГС, 10Г2С1Д	Для изготовления электросварных труб магистральных нефтегазопроводов диаметром до 1600 мм из листов шириной до 2500 мм; длиной до 12 000 мм. Благодаря наличию меди сталь обладает повышенной коррозионной стойкостью
09Г2	Для деталей сварных конструкций, изготовляемых из листа, в том числе для вагонов
14Г2	Для крупных (корпусных) листовых сварных конструкций больших доменных печей, пылеуловителей, воздухонагревателей, колонн цеха
09Г2С, 10Г2С1, 16ГС	Для паровых котлов, аппаратов и сосудов, работающих под давлением и при температуре от 70 до 450 °С, а также для других ответственных листовых сварных конструкций в химическом и нефтяном машиностроении, судостроении и котлотурбостроении. Эти стали хорошо свариваются
15ГНМ	Для барабанов котлов сверхвысоких параметров

8. Химический состав, %

Марка стали	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu
09Г2	≤ 0,12	0,17—0,37	1,40—1,80	≤ 0,30	≤ 0,30	≤ 0,30
14Г2	0,12—0,18	0,17—0,37	1,20—1,60	≤ 0,30	≤ 0,30	≤ 0,30
10Г2С1Д	≤ 0,12	0,80—1,10	1,30—1,65	≤ 0,30	≤ 0,30	0,15—0,30
14ХГС	0,11—0,16	0,40—0,70	0,90—1,30	0,50—0,80	≤ 0,30	≤ 0,30
09Г2С	≤ 0,12	0,50—0,80	1,30—1,70	≤ 0,30	≤ 0,30	≤ 0,30
10Г2С1	≤ 0,12	0,80—1,10	1,30—1,65	≤ 0,30	≤ 0,30	≤ 0,30
16ГС	0,12—0,18	0,40—0,70	0,90—1,20	≤ 0,30	≤ 0,30	≤ 0,30

9. Механические свойства горячекатаной стали без термической обработки

Марка стали	Толщина проката, мм	$\sigma_в$, кгс/мм² (не менее)	$\sigma_т$, кгс/мм² (не менее)	δ_5, % (не менее)	$a_н$, кгс·м/см² при T °С: +20 (не менее)	$a_н$, кгс·м/см² при T °С: −40 (не менее)	$a_н$, кгс·м/см² при T °С: −70 (не менее)
09Г2	4	45	31	21	—	—	—
14Г2	4	47	34	21	—	—	—
	5—9	47	34	21	—	3,5	—
	10—20	46	33	21	—	3	—
	21—32	46	33	21	—	3	—
10Г2С1, 10Г2С1Д	4	50	36	21	—	—	—
	5—9	50	35	21	6,5	4	3
	10—20	49	34	21	6	3	2,5
	21—32	48	33	21	6	3	2,5
	33—60	46	33	21	6	3	2,5
	61—80	44	30	21	6	3	2,5
	81—100	44	30	21	6	3	2,5
14ХГС	4	50	35	22	—	—	—
	5—9	50	35	22	—	4	—
	10	50	35	22	—	3,5	—
09Г2С, 09Г2СД	4	50	35	21	—	—	—
	5—9	50	35	21	6,5	4	3,5
	10—20	48	33	21	6	3,5	3
	21—32	47	31	21	6	3,5	3
	33—60	46	29	21	6	3,5	3
	61—80	45	28	21	6	3,5	3
	Св. 80 до 160	44	27	21	6	3,5	3
16ГС	4	50	33	21	—	—	—
	5—9	50	33	21	6	4	3
	10—20	49	32	21	6	3	2,5
	21—32	48	30	21	6	3	2,5
	33—60	47	29	21	6	3	2,5
	Св. 60 до 160	46	28	21	6	3	2,5

НИЗКОЛЕГИРОВАННЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ СТАЛИ (ГОСТ 19282—73)

Вместо среднеуглеродистых сталей при изготовлении сварных конструкций в машиностроении целесообразно использовать низколегированные стали, что обеспечивает снижение массы конструкций и позволяет повысить надежность сварных деталей и изделий. Низколегированные конструкционные стали отличаются повышенной прочностью при комнатной температуре, отсутствием склонности к старению, их можно применять при повышенных (до 500 °С) температурах.

Стали для листовых конструкций, барабанов котлов, корпусов сосудов и трубопроводов. К этим сталям относятся низколегированные стали марок 09Г2, 14Г2, 10Г2С1Д, 14ХГС, 09Г2С, 10Г2С1, 16ГС, применяемые для машиностроительных и строительных конструкций, работающих при повышенных и отрицательных температурах [4].

Назначение и общая характеристика этих сталей приведены в табл. 7, химический состав — в табл. 8, механические свойства — в табл. 9 и 10.

10. Механические свойства стали после закалки и отпуска

(при $T = -70°$ С, $a_н = 3$ кгс · м/см²; угол загиба в холодном состоянии 180°)

Марка стали	Толщина проката, мм	$\sigma_в$	$\sigma_т$	δ_5, %	$a_н$, кгс · м/см², при —40 °С
		кгс/мм²			
		Не менее			
09Г2	10—20	52	40	19	5
14Г2	10—32	54	40	18	4
16ГС	10—32	52	40	18	4
09Г2С	10—32	50	37	19	5
09Г2СД	33—60	46	32	21	5
10Г2С1	10—40	54	40	19	5
15ХСНД	10—32	60	50	17	4

11. Назначение и общая характеристика

Марка стали	Назначение
09Г2	Для деталей вагонов (хребтовые балки, швеллеры, стойки для ферм, верхняя обвязка вагонов и т. д.)
10ХСНД	Для изготовления специальных фасонных профилей судостроения (полособульбовая несимметричная и симметричная зетовая сталь и др.). Для сварных конструкций и аппаратов химической промышленности
15ХСНД	В вагоностроении для изготовления швеллеров от № 8В до 30—32, бандажных колец и др. В судостроении для изготовления полособульбовых и зетовых профилей. В строительстве для изготовления шпунтовых свай корытного, зетового и плоского профиля. Обладает повышенной устойчивостью против коррозии
15ГФ	Для листовых сварных конструкций вагоностроения. Сталь хорошо сваривается. По ударной вязкости при +20 и —40 °С сварные швы не уступают основному материалу. Склонность к образованию горячих и холодных трещин при сварке у стали отсутствует. Штампуемость удовлетворительная [12]

Стали для судостроения, аппаратов, химической промышленности и вагоностроения. Общая характеристика сталей приведена в табл. 11, а химический состав и механические свойства — в табл. 12 и 13.

Стали для армирования железобетонных конструкций. К ним относятся стали 18Г2С, 25Г2С, 35ГС, 20ХГ2Ц, 80С, 15ХСНД, 23Х2Г2Т, 10ГТ (ГОСТ 5781—75). В табл. 14—17 приведены основные характеристики этих сталей.

Арматурную сталь в зависимости от механических свойств подразделяют на пять классов: **А-I, А-II, А-III, А-IV, А-V.**

12. Химический состав, %

Марка стали	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu
				Не более		
10ХСНД	⩽ 0,12	0,80—1,10	0,50—0,80	0,60—0,90	0,50—0,80	0,40—0,65
15ХСНД	0,12—0,18	0,40—0,70	0,40—0,70	0,60—0,90	0,30—0,60	0,20—0,40
15ГФ	0,12—0,18	0,17—0,37	0,90—1,20	0,30	0,30	0,30; 0,05—0,1V

13. Механические свойства горячекатаной низколегированной стали

Марка стали	Толщина проката, мм	$\sigma_в$	$\sigma_т$	δ_5, %	$a_н$, кгс·м/см² при T, °С	
		кгс/мм²			—40	—70
		Не менее				
09Г2	4—20	45	31	21	3,0	—
	21—32	45	30	21	4,0	—
10ХСНД	4—10	54	40	19	5,0	—
	11—15	54	40	19	4,0	3,0
	33—40	42	40	19	5,0	3,0
	33—40	51	37	15	—	—
	4—10	52	38	21	4,0	—
15ГФ	11—20	52	36	21	3,0	—
	21—32	48	34	21	3,0	—
15ХСНД	4—32	50	35	21	3,0	3,0

Примечание. Угол загиба для всех марок стали в холодном состоянии 180°.

14. Назначение и общая характеристика

Марка стали	Назначение
18Г2С	Для изготовления горячекатаной арматуры периодического профиля класса А-II, диаметром от 10 до 90 мм для армирования обычных и предварительно напряженных железобетонных конструкций (ГОСТ 5781—75)
25Г2С	Для изготовления арматуры периодического профиля класса А-III диаметром от 6 до 40 мм, то же, для армирования обычных и предварительно напряженных железобетонных конструкций
20ХГ2Ц	Для изготовления арматуры периодического профиля класса А-IV диаметром от 10 до 32 мм
15ХСНД	Для изготовления шпунтовых свай корытного профиля ШК-1, ШК-2, зетового ШД-3 и ШД-5 и плоского ШП-1 и ШП-2

15. Химический состав стали, %

Марка стали	C	Mn	Si	Cr	Ti	Zr	Ni	S	P	Cu
							Не более			
10ГТ	⩽ 0,13	1,0—1,40	0,45—0,65	⩽ 0,3	0,015—0,03	—	—	0,040	0,030	0,30
18Г2С	0,14—0,23	1,20—1,60	0,60—0,90	⩽ 0,3	—	—	0,30	0,045	0,040	0,30
35ГС	0,30—0,37	0,80—1,20	0,60—0,90	⩽ 0,3	—	—	0,30	0,045	0,040	0,30
25Г2С	0,20—0,29	1,2—1,60	0,60—0,90	⩽ 0,3	—	—	0,30	0,045	0,040	0,30
20ХГ2Ц	0,19—0,26	1,50—1,90	0,40—0,70	0,90—1,20	—	0,05—0,14	0,30	0,045	0,040	0,30
80С	0,74—0,82	0,50—0,90	0,60—1,10	Не более 0,30	0,015—0,03	—	0,30	0,045	0,040	0,30
23Х2Г2Т	0,19—0,26	1,40—1,70	0,40—0,70	1,35—1,70	0,02—0,08	—	0,30	0,040	0,035	0,30

Примечание. В стали 23Х2Г2Т должно быть 0,015—0,05% Al.

16. Механические свойства горячекатаной низколегированной стали

Марка стали	Толщина проката, мм	$\sigma_в$ кгс/мм² (не менее)	$\sigma_т$ кгс/мм² (не менее)	δ_5, % (не менее)	Угол загиба, градусы
18Г2С	6—9	60	40	14	90
	40—90	50	30	14	90
35ГС	6—40	60	40	14	90
25Г2С	6—40	60	40	14	90
20ХГ2Ц	10—32	90	60	6	45
80С	10—18	90	60	6	45

17. Механические свойства термически упрочненной арматурной стали по классам (ГОСТ 10884—71)
(угол загиба в холодном состоянии 45°)

Класс термически упрочненной стали	Диаметр стержня, мм	$\sigma_в$ кгс/мм² (не менее)	$\sigma_т$ кгс/мм² (не менее)	δ_5, % (не менее)
АТ-IV	10—18	90	60	8
	20—40			7
АТ-V	10—14	100	80	7
	16—40			6
АТ-VI	10—14	120	100	6
	16—32			5
АТ-VII	10—32	140	120	5

Стержни арматурной стали класса А-I по ГОСТ 5781—75 поставляют круглыми гладкими, стержни классов А-II, А-III, А-IV и А-V — периодического профиля.

Стали для сельхозмашин и автомобилей (ГОСТ 19281—73 и 19282—73). Химический состав стали 12ГС (%): 0,09—0,15 C; 0,5—0,8 Si; 0,8—1,2 Mn; ≤0,3 Cr; ≤0,3 Ni; ≤0,3 Cu. Механические свойства этой стали: $\sigma_в = 47$ кгс/мм²; $\sigma_т = 32$ кгс/мм²; $\delta_5 = 26\%$.

Сталь 15ГДЮТ повышенной прочности. Листовая сталь 15ГДЮТ [10] предназначена для стальных сварных конструкций машиностроения, автомобилестроения (для лонжеронов) и строительства (табл. 18 и 19), обладает повышенной прочностью ($\sigma_т \geqslant 40$ кгс/мм²). Применяют ее только в термически обработанном состоянии (нормализация с 900 °С или улучшение: закалка с 900 °С в воде и отпуск при 650 °С).

18. Механические свойства *1 листовой стали 15ГДЮТ

Толщина листа, мм	$\sigma_т$ кгс/мм²	$\sigma_в$ кгс/мм²	$\sigma_т/\sigma_в$ кгс/мм²	δ_{10} %	ψ %
12	41,7	53,8	0,77	21,9	54,7
24	40,2	53,9	0,74	20,3	59,9
36	39,6	53,3	0,74	21,0	62,1

*1 Для образцов, вырезанных поперек проката, после закалки с 900 °С в воде и отпуска при 650 °С.

19. Ударная вязкость стали 15ГДЮТ при пониженных температурах и после старения

Толщина листа, мм	$a_н$*1, кгс·м/см² при температуре, °С: +20	−20	−40	−60	$a_н$ после старения, кгс·м/см²
12	15,0	12,5	8,8	7,3	8,7
24	19,8	15,2	11,9	10,0	12,0
36	21,4	15,9	12,6	9,3	13,3

*1 Для образцов, вырезанных поперек проката.

УГЛЕРОДИСТЫЕ И ЛЕГИРОВАННЫЕ СТАЛИ

К этой группе относятся стали 08, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 58 и 60 диаметром или толщиной до 250 мм и стали 65, 70, 75, 80, 85, 60Г и 70Г диаметром или толщиной до 60 мм (ГОСТ 1050—74), а также стали 25Г, 30Г, 35Г, 40Г, 45Г, 50Г, 35Г2, 40Г2, 45Г2, 50Г2, 30Х, 38ХА, 40Х, 45Х, 50Х, 33ХС, 38ХС, 20ХГСА, 30ХГС, 30ХГСА, 35ХГСА, 30ХМ, 30ХМА, 35ХМ, 40ХФА, 40ХН, 45ХН, 50ХН, 30ХН3А (ГОСТ 4543—71). В табл. 20—26 приведены основные характеристики сталей этой группы.

Стали 25—60, 25Г—50Г (ГОСТ 1050—74). Стали предназначены для изготовления различных деталей машин и механизмов. Применяют их в термически обработанном (улучшенном) состоянии.

20. Химический состав, %
(при содержании 0,17—0,37 Si)

Марка стали	C	Mn
25	0,22—0,30	0,50—0,80
30	0,27—0,35	
35	0,32—0,40	
40	0,37—0,45	
45	0,42—0,50	
50	0,47—0,55	
55	0,52—0,60	
60	0,57—0,65	
25Г	0,22—0,30	0,70—1,00
30Г	0,27—0,35	
35Г	0,32—0,40	
40Г	0,37—0,45	
45Г	0,42—0,50	
50Г	0,48—0,56	

21. Механические свойства листов толщиной до 60 мм
(ГОСТ 1050—74)

Марка стали	$\sigma_т$ кгс/мм² (не менее)	$\sigma_в$ кгс/мм² (не менее)	δ_5 % (не менее)	ψ % (не менее)	$a_н$, кгс·м/см² (не менее)
0,8	20	33	33	60	—
10	21	34	31	55	—
15	23	38	27	55	—
20	25	42	25	55	—
25	28	46	23	50	9
30	30	50	21	50	8
35	32	54	20	45	7
40	34	58	19	45	6
45	36	61	16	40	5
50	38	64	14	40	4
55	39	66	13	35	—
58 (55 пп)	32	61	12	28	—
60	41	69	12	35	—

Примечание. Для заготовок из сталей всех марок в качестве термической обработки используют нормализацию

22. Химический состав сталей *1, %
(ГОСТ 4543—71) (0,8—1,1 Mn)

Марка стали	C	Si	Cr
20ХГСА	0,17—0,23	0,90—1,20	0,80—1,10
30ХГСА	0,28—0,34	0,90—1,20	0,80—1,10
35ХГСА	0,32—0,39	1,10—1,40	1,10—1,40
30ХГС	0,28—0,35	0,90—1,20	0,8 —1,10

*1 ≤ 0,20% Cu; ≤ 0,25% Ni; ≤ 0,025% P; ≤ 0,025% S.

23. Механические свойства сталей

Марка стали	$\sigma_т$ кгс/мм² (не менее)	$\sigma_в$ кгс/мм² (не менее)	δ_5 % (не менее)	ψ % (не менее)	$a_н$, кгс·м/см²	HB после отжига (не более)
20ХГСА	65	80	12	45	7	207
30ХГСА	85	110	10	45	5	229
30ХГС	85	110	10	45	4,5	229
35ХГСА	85	110	10	45	5	241

24. Химический состав, %

Марка стали	C	Si	Mn	Cr	Остальные элементы
30ХМА	0,26—0,33	0,17—0,37	0,40—0,70	0,80—1,10	0,15—0,25 Mo
35ХМ	0,32—0,40	0,17—0,37	0,40—0,70	0,80—1,10	0,15—0,25 Mo
40ХФА	0,37—0,44	0,17—0,37	0,50—0,80	0,80—1,10	0,10—0,20 V

25. Термическая обработка и механические свойства сталей

Марка стали	Температура, °С		$\sigma_т$	$\sigma_в$	δ_5	ψ	$a_н$, кгс·м/см²	*HB* после отжига (не более)
	закалки в масле	отпуска с охлаждением в воде или масле	кгс/мм²		%			
			Не менее					
30ХМА	880*¹	540	75	95	12	50	9	229
35ХМ	850	560	85	100	12	45	8	241
40ХФА	880	650	75	90	10	50	9	241

*¹ Охлаждение в масле и теплой воде.

26. Технологические свойства сталей

Марка стали	Температура ковки, °С		Свариваемость	Примечание
	начала	конца		
30ХМ, 30ХМА	1150	850	—	1. РДС — ручная дуговая сварка; АДС — автоматическая дуговая сварка; АрДС — аргонодуговая сварка; ЭШС — электрошлаковая сварка.
35ХМ	1200	850	При РДС, АДС под флюсом и газовой защитой, ЭШС, АрДС необходимы подогрев и последующая термическая обработка	2. Коррозионная стойкость сталей 30ХМ, 30ХМА, 35ХМ и 40ХФА низкая. Эти стали флокеночувствительны. Стали 30ХМА, 35ХМ не склонны к отпускной хрупкости, сталь 40ХФА склонна.
40ХФА	1200	800	—	

ХРОМОКРЕМНЕМАРГАНЦОВЫЕ СТАЛИ

Улучшаемые хромокремнемарганцовые стали 20ХГСА, 30ХГС, 30ХГСА средней прочности обладают повышенной прочностью при умеренной вязкости и применяют их для ответственных сварных конструкций. Данные конструкционные низколегированные стали относятся к перлитному классу. В зависимости от видов термической обработки имеют соответствующие микроструктуры: при отжиге — феррито-перлитную, при закалке — мартенситную или троосто-мартенситную, при отпуске закаленной стали (улучшении) — троостомартенситную, троосгитную, троосто-сорбитную или сорбитную.

Для изготовления сварных деталей из указанных сталей после сварки применяют термическую обработку (закалка и отпуск).

ХРОМОМОЛИБДЕНОВЫЕ СТАЛИ

Хромомолибденовые стали 30ХМ, 30ХМА, 35ХМ, 40ХФА, 38ХМ, 38ХС имеют высокие механические свойства (прочность, пластичность, вязкость). Стали 30ХМ и 30ХМА благодаря хорошей свариваемости применяют для сварных конструкций в улучшенном (иногда после нормализации и отпуска) состоянии для изготовления крепежных узлов и деталей, работающих при температурах до 450—460 °С (детали турбин, паропроводов и т. д.).

Стали 35ХМ, 40ХФА и 38ХМ применяют для ответственных деталей турбин и турбокомпрессоров, работающих при температурах до 480 °С (валы, зубчатые колеса, роторы, траверсы и т. д.).

27. Химический состав некоторых высокопрочных сталей, %

Марка стали	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V
HS-220*¹	0,30	0,55	0,70	1,20	2,05	0,45	—
AISI-4340*¹	0,38—0,43	0,20—0,35	0,60 0,80	0,70 0,80	1,65 2,00	0,20 0,30	—
X-200*¹	0,43	0,85	2,00	—	0,50	0,05	0,05
30ГСМ*¹	0,40 0,47	0,65 0,90	0,70 0,95	1,65 2,00	0,30 0,45	— —	0,05 —
H11*¹	0,30 0,40	0,20 0,40	2,75 5,50	—	1,25 1,75	— —	— 0,30
30ХГСА	0,28 0,35	0,90 1,20	0,80 1,10	0,10 1,40	— —	— —	0,50 —
30ХГСН2А	0,27 0,34	0,90 1,20	1,00 1,30	0,80 1,20	— —	— —	— —
30Х2ГСНМ	0,30	0,89	1,2	1,87	0,72	0,49	0,05
42Х2ГСНМ	0,39	0,89	1,2	1,87	0,72	0,49	0,05
50Х2ГСНМ	0,45—0,53	0,89	1,2	1,87	0,72	0,49	0,05

*¹ Марки сталей, применяемых за рубежом [1]. Высокопрочная сталь 30ХГСН2А является низколегированной сталью перлитного класса. Предназначена для ответственных сборных деталей со следующими ограничениями по наибольшей толщине: цилиндр или квадрат — до 80 мм, профиль — до 60 мм, листы и трубы с двусторонним охлаждением — до 40 мм, трубы с односторонним охлаждением — до 20 мм. Низколегированные стали 30Х2ГСНМ и 42Х2ГСНМ мартенситного класса способны закаливаться на воздухе и сохранять предел прочности на высоком уровне при работе до 300 °С. Их применяют для изготовления обечаек емкостей ответственного назначения, работающих кратковременно под давлением при температуре до 300 °С и подвергающихся термической обработке (закалке с отпуском) после сварки [7, 12].

28. Механические свойства высокопрочных сталей

Марка стали	Режим термической обработки	Температура отпуска, °С	$\sigma_т$	$\sigma_в$	δ, %
			кгс/мм²		
AISI	Нагрев до 815 °С, закалка в масле и отпуск	200 315 426	184,2 160,7 135,2	194 174,4 149	11,0 12,0 14,0
HS-220	Закалка после нагрева до 900 °С, выдержка в течение 1 ч, повторная закалка после нагрева до 870 °С, выдержка и отпуск	330	134	164	—
X-200	Нагрев до 955 °С, выдержка в течение 15 мин, охлаждение на воздухе, отпуск в течение 30 мин	200 370 540	147 166,6 137,2	215,6 196 167,6	9,6 7,0 8,5
300М	Нагрев до 930 °С, закалка на воздухе, повторная закалка в масле после нагрева до 870 °С, отпуск	260 425	1660 1470	202 1784	8 8,5
H11	Нагрев в соляной ванне до 840 °С, выдержка 30 мин, нагрев до 1010 °С, выдержка 15 мин, охлаждение на воздухе, двойной отпуск	315	1555	2015	7
30ХГСА	Нагрев до 870—890 °С, закалка в масле и отпуск	200	130	165	9
30ХГСН2А	Нагрев до 890—900 °С, закалка в масле и отпуск	260	140	165	9
	Нагрев до 890—900 °С, изотермическая закалка и отпуск	200	—	147	13

ВЫСОКОПРОЧНЫЕ СТАЛИ

Высокопрочные стали применяют преимущественно в тех областях, где основное значение имеет отношение прочности к плотности материала детали [10].

В табл. 27 и 28 приведены химический состав и механические свойства некоторых марок этой группы, а также зарубежных.

СТАЛИ С ОСОБЫМИ СВОЙСТВАМИ

ТЕПЛОУСТОЙЧИВЫЕ СТАЛИ

В табл. 29—31 приведены основные характеристики и свойства сталей этой группы.

Теплоустойчивыми называют стали, предназначенные для длительной работы при температуре до 600 °С. Эти стали используют преимущественно в энергетическом машиностроении. В соответствии с условиями длительной работы под напряжением при повышенных температурах к этим сталям предъявляются требования повышенного сопротивления ползучести, повышенной длительной прочности, а также стабильности других механических свойств во времени и жаростойкости.

29. Назначение и рабочая температура (ГОСТ 20072—74)

Марка стали	Температура, °С: рабочая	Температура, °С: окалинообразования*1	Примерное назначение
12МХ	510	570	Для труб пароперегревателей, трубопроводов и коллекторных установок высокого давления, для поковок паровых котлов и паропроводов
12Х1МФ (12ХМФ)	570—585	600	То же
25Х1МФ (ЭИ710)	510	600	Для плоских пружин, шпилек, болтов и других крепежных деталей турбин. Применяют для крупных поковок
25Х2М1Ф (ЭИ723)	520—550	600	Для плоских пружин, болтов, шпилек, других крепежных деталей
18Х3МВ (ЭИ578)	450—500	600	Для труб гидрогенизационных установок
20Х3МВФ (ЭИ415, ЭИ579)	500—560	600	Для цельнокованых роторов, дисков, крупных турбинных поковок, болтов. Для труб высокого давления химической аппаратуры и гидрогенизационных установок. Для работы в условиях водородной коррозии (трубы)

*1 Температура начала интенсивного окалинообразования (ориентировочно).

30. Механические свойства сталей

Марка стали	$\sigma_в$, кгс/мм² (не менее)	$\sigma_т$, кгс/мм² (не менее)	δ_5, % (не менее)	ψ, % (не менее)	$a_н$, кгс·м/см² (не менее)
12МХ	42	24	21	45	6
12Х1МФ	48	26	21	55	10
25Х1МФ	90	75	14	50	6
25Х2М1Ф	80	68	10	40	3
18Х3МФВ	65	45	18	—	12
20Х3МВФ	90	75	12	40	6

31. Предел ползучести и длительной прочности сталей

Марка стали	Температура испытания, °С	σ_{10000}, кгс/мм²	σ_{100000}, кгс/мм²	$\sigma_{1/10000}$, кгс/мм²	$\sigma_{1/100000}$, кгс/мм²	Марка стали	Температура испытания, °С	σ_{10000}, кгс/мм²	σ_{100000}, кгс/мм²	$\sigma_{1/10000}$, кгс/мм²	$\sigma_{1/100000}$, кгс/мм²
12МХ	480	25	20	22	15	25Х2М1Ф	550	16—22	—	—	7
	510	16	12	—	7	18Х3МВ	450	—	—	23	16
	540	11	7	—	3,5		500	—	—	12	—
12Х1МФ	520	20	16	18	13	20Х3МВФ	500	34	30	18	15
	560	14	10,8	11,8	8,4		550	20	16	13	10
	580	12	9—10	9	6,2		580	14	10	—	5
25Х1МФ	500	26—29	—	—	8						
	550	10—15	—	9	3						

КОРРОЗИОННО-СТОЙКИЕ СТАЛИ ДЛЯ ОБЩЕГО И ХИМИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Стали для работы в слабоагрессивных средах. Стали 08Х13, 12Х13 и 20Х13 обладают высокой пластичностью и применяют их для деталей, подвергающихся ударным нагрузкам (например, клапаны гидравлических прессов и др.) (табл. 32—35). Наибольшая коррозионная стойкость достигается после улучшения и полирования деталей. Рабочая среда — обычные атмосферные условия, речная и водопроводная вода, влажный пар и водяные растворы солей органических кислот при комнатной температуре.

32. Химический состав, %

Марка стали	C	Остальные элементы
08Х13	⩽ 0,08	12—14Cr, ⩽ 0,8Mn, ⩽ 0,8Si, ⩽ 0,025S, ⩽ 0,03P
12Х13	0,09—0,15	
20Х13	0,16—0,25	

33. Механические свойства сортовой стали после термической обработки

Марка стали	$\sigma_в$, кгс/мм² (не менее)	$\sigma_т$, кгс/мм² (не менее)	δ_5, % (не менее)	ψ, % (не менее)	$a_н$, кгс·м/см² (не менее)
08Х13	60	42	20	60	10
12Х13	60	42	20	60	9
20Х13	66	45	16	55	8

34. Химический состав (при ⩽ 0,035%P), % (ГОСТ 5632—72)

Марка стали	C	Mn	Cr	Ni	Si	S
				Не более		
20Х13Н4Г9	0,15—0,30	8,0—10,0	12,0—14,0	3,7—4,7	0,80	0,025
10Х14Г14Н3	0,09—0,14	13,0—15,0	12,5—14,0	2,8—3,5	0,70	0,020
10Х14Г14Н4Т	0,10 не более	13,0—15,0	13,0—15,0	2,8—4,5	0,80	0,020

35. Механические свойства сортовой стали (ГОСТ 5949—75)

Марка стали	Закалка		$\sigma_в$	$\sigma_т$	δ_5	ψ
	Температура, °С	Охлаждающая среда	кгс/мм²		%	
			Не менее			
Х14П4Н	1000—1080	Воздух, масло или вода	По согласованию			
20Х13Н4Г9	1070—1130	Воздух	65	25	35	55
10Х14Г14Н4Т	1000—1080	Воздух, масло или вода	65	25	35	50

36. Химический состав сталей *1 для работы в средах средней агрессивности, % (при ⩽ 2% Mn, 17—19% Cr)

Марка стали	C, не более	Ni	Ti
08Х18Н10	0,08	9,0—11,0	—
06Х18Н11	0,06	10,0—12,0	—
17Х18Н9	0,13—0,21	8,0—10,0	—
12Х18Н9Т	0,12	8,0—9,50	5 C—0,8
12Х18Н10Т	0,12	9,0—11,0	5 C—0,8
12Х18Н12Т	0,12	11,0—13,0	5 C—0,7
12Х18Н10Е	0,12	9,0—11,0	—

*1 ⩽ 0,80% Si; ⩽ 0,020% S; ⩽ 0,035% P.

37. Коррозионная стойкость

Марка стали	Коррозионная стойкость
12Х18Н9Т	Весьма высокая. Сталь устойчива в азотной, холодной фосфорной и органических кислотах (за исключением уксусной, муравьиной, молочной, щавелевой), в растворах многих солей и щелочей, морской воде, влажном воздухе. Неустойчива в соляной, серной, плавиковой, горячей фосфорной, кипящих органических кислотах. Превосходит по коррозионной стойкости коррозионно-стойкие высокохромистые стали. Обладает удовлетворительной сопротивляемостью межкристаллитной коррозии
12Х18Н12Т	Не ниже, чем у сталей 12Х18Н9Т и 12Х18Н10Т. Сталь обладает более высокой сопротивляемостью межкристаллитной коррозии
08Х18Н10 06Х18Н11	Высокая. Стали неустойчивы в серосодержащих средах
17Х18Н9	Высокая и сохраняется только при работе без нагрева. Сталь при сварке приобретает большую склонность к межкристаллитной коррозии

Стали 20Х13Н4Г9 (ЭИ100), 10Х14Г14Н3, 10Х14Г14Н4Т (ЭИ711), стали 20Х13Н4Г9 и 10Х14Г14Н3 предназначены для прочных и легких конструкций, соединяемых точечной электросваркой, вместо сталей 12Х18Н9Т и 17Х18Н9. Хорошо сопротивляются атмосферной коррозии. Сталь 10Х14Г14Н4Т рекомендуется как заменитель стали 12Х18Н9Т для работы в слабоагрессивных средах (органические кислоты, соли, щелочи при невысоких температурах). Обладает удовлетворительной сопротивляемостью межкристаллитной коррозии.

38. Механические свойства сортовой стали, закаленной с 1050—1100 °С на воздухе, в масле или воде (при δ_5 = 40%)

Марка стали	$\sigma_в$	$\sigma_т$	ψ, %
	кгс/мм² не менее		
08Х18Н10	48	20	55
17Х18Н9	58	22	55
12Х18Н9Т	55	20	55
12Х18Н10Т.	52	20	55
12Х18Н12Т	55	20	55

39. Механические свойства тонколистовой стали (0,8—4 мм), закаленной с 1050—1080 °С (ГОСТ 5582—75)

Марка стали	$\sigma_в$, кгс/мм²	δ_5, %	Марка стали	$\sigma_в$, кгс/мм²	δ_5, %
08Х18Н10	52	45	06Х18Н11	52	35
17Х18Н9	60	35	08Х18Н12Т	55	35
12Х18Н9Т,	54	50			
08Х18Н10Т					

Стали 20Х13Н4Г9, Х14АГ15, 10Х14Г14Н4Т можно применять вместо хромоникелевых. Они сохраняют высокие прочностные характеристики, пластичность и вязкость до температуры 300 °С.

Стали для работы в среднеагрессивных средах. Хромоникелевые стали аустенитного класса предназначены для изготовления труб, деталей печной арматуры, теплообменников, муфелей, реторт [6] и т.д. в виде холоднокатаного листа и ленты повышенной прочности для различных деталей и конструкций.

Основные характеристики сталей этой группы приведены в табл. 36—39.

40. Механические свойства *1 сортовой стали (при δ_5 = 40%), закаленной с 1020—1100 °С на воздухе, в масле или воде (ГОСТ 5949—75)

Марка стали	$\sigma_в$	$\sigma_т$	ψ, %
	кгс/мм²		
	Не менее		
08Х18Н10Т	50	20	55
04Х18Н10	45	16	—
08Х18Н12Б	50	18	55

*1 Для заготовок толщиной до 60 мм.

Коррозионная стойкость сталей типа 18-8, а следовательно, и сварных соединений из этих сталей зависит от содержания углерода; она тем выше, чем меньше содержание углерода. Поэтому для сварных соединений лучше применять сталь, содержащую 0,03—0,04% С, следя за тем, чтобы суммарное содержание углерода в сварном шве не превышало 0,05—0,06%.

41. Химический состав, % (при 0,8% Mn) (ГОСТ 5632—72)

Марка стали	C	Cr	Ni	Ti
	Не более			
08Х22Н6Т *1	0,08	21,0—23,0	5,3—6,3	5C—0,65
12Х21Н5Т	0,09—0,14	20,0—22,0	4,8—5,8	0,25—0,5

*1 ⩽ 0,80% Si; ⩽ 0,020% S; ⩽ 0,035% P.

42. Механические свойства сортовой стали (ψ = 45%, ГОСТ 5949—75)*1

Марка стали	$\sigma_в$	$\sigma_т$	δ_5, %
	кгс/мм²		
	Не менее		
08Х22Н6Т	60	35	20
12Х21Н5Т	70	32	16

*1 Рекомендуемый режим термической обработки — закалка с 950—1050 °С на воздухе или в воде.

Стали повышенной сопротивляемости межкристаллитной коррозии (ГОСТ 5632—72). Стали 08Х18Н10Т, 04Х18Н10Т применяют для изготовления сварных изделий (трубопроводов, выхлопных конусов, листовых металлических

43. Химический состав, %

Марка стали	C, не более	Mn	Cr	Ni	Mo	Ti
10Х17Н13М2Т	0,10	Не более 2,0	16,0—18,0	12,0—14,0	2,00—3,00	5С—0,7
10Х17Н13М3Т	0,10	Не более 2,0	16,0—18,0	12,0—14,0	3,00—4,0	5С—0,7
08Х17Н15М3Т *1	0,08	1,0—2,0	16,0—18,0	15,0—17,0	3,00—3,50	0,30—0,60
08Х21Н6М2Т	0,08	0,80	20,0—22,0	5,50—6,50	1,80—2,50	0,20—0,40
06ХН28МТ	0,06	0,80	22,0—25,0	26,0—29,0	1,80—2,50	0,40—0,70
06ХН28МДТ *2	0,06	0,80	22,0—25,0	26,0—29,0	2,5—3,0	0,40—0,70

*1 ⩽ 0,80% Si; 0,025% S; ⩽ 0,035% P.
*2 2,5—3,5% Cu.

44. Коррозионные среды, в которых стали стойки

Среда	Концентрация среды, %	Температура среды, °С	Марка стали
Кислоты: фосфорная	10	Кипение	08Х21Н6М2Т, 10Х17Н13М2Т
	Концентрированная	—	10Х17Н13М2Т, 06ХН28МДТ
муравьиная	90—100	20	08Х21Н6М2Т, 10Х17Н13М2Т
молочная	50	—	10Х17Н13М2Т
уксусная	Концентрированная	70	08Х21Н6М2Т, 10Х17Н13М2Т, 0Х23Н28М2Т
азотная	—	Кипение	10Х17Н13М2Т
серная	98—100	—	10Х17Н13М3Т, 06ХН28МДТ
соляная	1	—	08Х21Н6М2Т, 10Х17Н13М2Т
Йод сухой	—	—	10Х17Н13М2Т, 06ХН28МДТ
Едкое кали	68	120	0Х21Н16М2Т, 10Х17Н13М2Т, 06ХН28МДТ
Аммиак — газ и водный раствор любых концентраций	—	100	10Х17Н13М2Т, 06ХН28МДТ

45. Механические свойства сортовой стали (ГОСТ 5949—75)

Марка стали	$\sigma_в$, кгс/мм² (не менее)	$\sigma_{0,2}$, кгс/мм² (не менее)	δ_5, % (не менее)	ψ, % (не менее)
10Х17Н13М3Т	54	20	40	55
08Х21Н6М2Т	60	35	25	45
08Х17Н15М3Т	50	20	35	45
06ХН28МТ	По согласованию			
06ХН28МДТ				

46. Механические свойства стали 08Х21Н6М2Т при повышенных температурах

Температура, °С	$\sigma_в$, кгс/мм² (не менее)	$\sigma_{0,2}$, кгс/мм² (не менее)	δ_5, % (не менее)
100	60	40	35
400	50	30	30

47. Механические свойства сталей (для заготовок толщиной до 60 мм, ГОСТ 5949—75)

Марка стали	$\sigma_в$, кгс/мм² (не менее)	$\sigma_т$, кгс/мм² (не менее)	δ_5, % (не менее)	ψ, % (не менее)
36Х18Н25С2	65	35	25	40
20Х25Н20С2	60	30	35	50

частей турбин и т. п.), работающих в средах высокой агрессивности. Стали аустенитного класса.

Сталь 08Х18Н12Б используют для работы в средах средней агрессивности, аустенитного класса; назначение то же, что и сталей 08Х18Н10Т и 04Х18Н10Т. Сталь 03Х18Н11 предназначена для изготовления электровакуумных приборов, обладает высокой коррозионной стойкостью. Сталь относится также к аустенитному классу.

Стали достаточно устойчивы к межкристаллитной коррозии, а стали 04Х18Н10Т и 03Х18Н11 обладают также высокой сопротивляемостью «ножевой» коррозии (табл. 40—42).

Стали хорошо свариваются покрытыми электродами из стали 08Х18Н10Б. Не требуют обязательной термической обработки после сварки. Технологические свойства по свариваемости этих сталей аналогичны свойствам сталей 08Х18Н10 и других аустенитных сталей.

Стали с пониженным содержанием никеля (ГОСТ 5632—72). Стали 08Х22Н6Т (ЭП53), 12Х21Н5Т (ЭИ811) относятся к аустенитно-ферритному классу; их применяют для изготовления сварной аппаратуры в химической, пищевой и других отраслях промышленности. Обладают повышенной сопротивляемостью межкристаллитной коррозии под напряжением и более высокой прочностью по сравнению с 08Х18Н10Т и являются ее заменителем.

Стали для работы в средах повышенной и высокой агрессивности. Стали 10Х17Н13М2Т (ЭИ448), 10Х17Н13М3Т (ЭИ432), 08Х17Н15М3Т, 10Х17Н16М3Т, 08Х21Н6М2Т (ЭП54), 06ХН28МТ (ЭИ628), 06ХН28МДТ (ЭИ943), рекомендуются для изготовления сварных конструкций, работающих в средах повышенной агрессивности: горячей фосфорной кислоте с примесью фтористых соединений, серной кислоте и других кислотах (табл. 43—47).

АЛЮМИНИЕВЫЕ СПЛАВЫ

Сплавы алюминия в зависимости от назначения делят на деформируемые и литейные. Деформируемые сплавы подразделяют на неупрочняемые и упрочняемые термической обработкой.

48. Механические свойства алюминиевых сплавов (ГОСТ 4784—74, ГОСТ 2685—75)

Марка	Сплав	$\sigma_в$, кгс/мм²	δ_5, %	НВ
АМц	Отожженный (АМцМ)	13	23	30
	Полунагартованный (АМцП)	17	10	40
	Нагартованный (АМцН)	22	5	55
АМг1	Отожженный (АМг1М)	19	23	45
	Полунагартованный (АМг1П)	25	6	60
АМг3	Отожженный (АМг3М)	20	22	50
АМг5	Отожженный (АМг5М)	26	22	65
	Полунагартованный (АМг5П)	30	14	80
АМг6	Отожженный (АМг6М)	32	20	80
Д1	Отожженный (Д1АМ)	21	12	45
	Закаленный и естественно состаренный (Д1АТ)	38	12	113
Д16	Отожженный (Д16Ам)	23	10	42
	Закаленный и естественно состаренный (Д16АТ)	43	10	105
В95	Отожженный (В95м)	28	10	—
	Закаленный и искусственно состаренный (В95Т1)	58	7	150
АК4 (1140)	—	36	5—8	100
АК8 (1380)	—	48	10	135
АЛ8	Закалка	29	9,0	60
АЛ9	Закалка и полное искусственное старение	23	4,0	70
АЛ19	Закалка и неполное искусственное старение	34	4,0	90

Технический алюминий обозначают буквами АД, а сплавы алюминия с магнием или марганцем — соответственно АМг и АМц. Цифра у сплавов алюминия с магнием показывает процентное содержание магния; например, у сплавов АМг3, АМг5, АМг6 содержание магния соответственно 3,5 и 6%. Дуралюминий обозначают буквой Д и цифрой, показывающей условный номер сплава, например Д1, Д16, Д20; имеется и другая маркировка, например, В65, В95, ВД17.

Алюминиевые сплавы для ковки и горячей штамповки обозначают буквами ВАК (алюминиевые ковочные) и цифрой (условным номером сплава), например, ВАК4, ВАК4-1, ВАК6, ВАК6-1, ВАК-8.

Литейные алюминиевые сплавы обозначают буквами АЛ и цифрой, например: АЛ2, АЛ4, АЛ9 и т. д.

В зависимости от состава все алюминиевые литейные сплавы делятся на силумины — сплавы алюминия с кремнием (АЛ2, АЛ4, АЛ9), легированные силумины — сплавы алюминия и кремния с добавкой меди или магния (АЛ3, АЛ5, АЛ13), сплав алюминия и магния (АЛ18), сплавы алюминия с медью (АЛ7, АЛ19).

Механические свойства алюминиевых сплавов приведены в табл. 48.

Из свариваемых, термически обрабатываемых самозакаливающихся при сварке сплавов следует выделить сплавы системы Al — Zn — Mg [5]. Среднелегированным сплавом этой системы является сплав 01911. Он имеет повышенную стойкость против коррозии под напряжением вследствие повышенного суммарного содержания цинка и магния до 6,5%.

49. Механические свойства некоторых марок САП [3]

Марка	Содержание окиси алюминия, %	$\sigma_в$, кгс/мм²	δ_5, %	Температура кратковременной эксплуатации, °С
САП-1	6,0—9,0	7—8	2—3	700—900
САП-2	9,1—13,0	10—11	1,5—2,5	800—1000
САП-3	13,1—18,0	12—12,5	1,5—1,8	1000—1100

Перспективными являются спеченные сплавы алюминия. Деформируемый жаропрочный сплав из спеченного алюминиевого порошка (САП) получают путем прессования и спекания алюминиевого порошка при 500—600 °С. САП содержит до 13% тугоплавкой фазы, поэтому температура его плавления около 2000 °С. Из сплавов САП-1 и САП-2 изготовляют такие же полуфабрикаты, как из алюминиевых сплавов. Сплав САП-3 применяют только для прессованных полуфабрикатов. Сплавы имеют высокий модуль упругости (10 500—11 000 кгс/мм²) и достаточно высокие прочностные свойства при повышенных температурах (табл. 49).

МАГНИЕВЫЕ СПЛАВЫ

Чистый магний обладает невысокой прочностью и малой пластичностью ($\sigma_в$ = = 8 ÷ 11 кгс/мм², $\sigma_{0,2}$ = 2,1 кгс/мм², δ_5 = 6÷10%, *НВ* 20—30 кгс/мм²). Используют в основном сплавы магния, в состав которых входят алюминий, цинк, марганец и иногда редкоземельные элементы.

Деформируемые магниевые сплавы применяют в виде штампованных заготовок, листов, труб, профилей и других полуфабрикатов.

Сплав МА1 имеет высокую пластичность в горячем состоянии, хорошо сваривается, термической обработкой не упрочняется, применяется для сварных и штампованных деталей, арматуры топливных, масляных систем и изделий несложной конструкции, не несущих высоких нагрузок; термическая обработка (отжиг при 300—350 °С) с целью снятия напряжений.

Сплав МА2 имеет высокую пластичность при 275—400 °С; термической обработкой не упрочняется; применяется для изготовления кованых и штампованных деталей сложной формы; крыльчатых насосов, корпусов и крышек масляных насосов.

Сплав МА5 имеет высокую прочность; пластичность в горячем состоянии пониженная; упрочняется термической обработкой; применяют для изготовления нагруженных деталей (кронштейнов, качалок и др.). Термическая обработка: закалка с 410—425 °С после нагрева в течение 2—4 ч, охлаждение на воздухе.

Сплав МА8 — повышенной прочности; пластичность в холодном и горячем состоянии высокая, термической обработкой не упрочняется, применяют для изготовления обшивки элеронов, закрылков рулей и других деталей.

Сплав МА14 имеет высокую прочность; обладает удовлетворительной сопротивляемостью коррозии и хорошей пластичностью в горячем состоянии; обрабатывается давлением при 300—420 °С; упрочняется искусственным старением при 160—170 °С в течение 10 ч (прессованные полуфабрикаты) или 24 ч (поковки и штамповки); обладает неудовлетворительной свариваемостью и отличной обрабатываемостью резанием, применяется для изготовления нагруженных деталей, работающих при обычной температуре (стрингеров фюзеляжа и т. д.); поставляется в виде прутков, профилей, штампованных заготовок.

Сплав МА17 — жаропрочный; термической обработкой не упрочняется; обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью и хорошей пластичностью в горячем состоянии, обрабатывается давлением при 350—480 °С; поставляется в виде прессованных прутков и предназначается для изготовления деталей, работающих при температурах до 200 °С; предел длительной прочности σ_{100} = = 8÷9 кгс/мм².

Литейные магниевые сплавы по сравнению с алюминиевыми имеют худшие литейные свойства и большую окисляемость. Однако малая плотность, хорошая обрабатываемость, удовлетворительная свариваемость и достаточные механические свойства обусловливают их применение.

Сплав Мл2 обладает высокой коррозионной стойкостью; имеет низкие механические и литейные свойства; термической обработкой не упрочняется; хорошо сваривается и обрабатывается резанием; применяется для литья деталей простой конфигурации (различной арматуры, деталей приборов, требующих повышенной стойкости против коррозии).

Сплав Мл3 применяется для отливки средненагруженных и простых по конфигурации деталей (арматуры, корпусов насосов и т. п.).

Сплав Мл4 обладает высокими механическими свойствами и коррозионной стойкостью; применяется для изготовления деталей, испытывающих статические и динамические нагрузки (барабанов тормозных колес, корпусов приборов, опорных ферм, штурвалов, педалей, кронштейнов, рычагов и др.).

Сплав Мл5 является лучшим среди литейных сплавов; после термической обработки обладает высокими механическими свойствами; применяется для изготовления сложных и высоконагруженных деталей (барабанов авиаколес, качалок и др.).

Сплав Мл6 применяется для изготовления средненагруженных деталей приборов, радиоаппаратуры и т. п.

Сплав Мл8 [1] коррозионностоек, обладает удовлетворительными литейными свойствами, средней прочностью и повышенной жаропрочностью; термической обработкой не упрочняется, плохо сваривается и отлично обрабатывается резанием; предназначается для изготовления средненагруженных деталей двигателя, работающих при температурах до 200 °С.

Сплав Мл11 коррозионностоек; обладает удовлетворительными свойствами; достаточной прочностью и повышенной жаропрочностью, удовлетворительно сваривается и отлично обрабатывается резанием; предназначается для изготовления средненагруженных деталей, работающих длительно при температурах до 300 °С и кратковременно — при температурах до 400 °С.

Сплав Мл15 [1] удовлетворительно сваривается аргонно-дуговой сваркой; предназначен для изготовления деталей, работающих при температурах до 350 °С. Основные характеристики деформируемых магниевых сплавов приведены в табл. 50—52.

50. Деформируемые магниевые сплавы

Система сплава	Сплавы, применяемые		Предельные рабочие температуры, °С, при работе	
	в СССР	в США	длительной	кратковременной
Mg—Mn Mg—Mn—Ce Mg—Mn—Al—Co	МА1 МА3 МА9	М1А — —	150 200 200	200 250 250
Mg—Zr—Zn	ВМ65-1 ВМД-3	ZK60A ZK20XA	150	200
Mg—Al—Zn—Mn	МА2 МА2-1 МА5	AZ31A AZ61A AZ80A	150	200
Mg—Nd—Mn—Ni	МА11	—	250	350
Mg—Th—Mn	МА13	НМ21А, НМ31А	300	350
Mg—Th—Zr	—	НК31А	300	350

51. Механические свойства деформируемых магниевых сплавов

Сплав	Температура испытания, °С	$\sigma_в$, кгс/мм²	$\sigma_{0,2}$, кгс/мм²	δ_5, %
МА1	20	20	10	8
МА2	20	24	17	15
МА2-1	20	27	16	10
МА5	20	30	20	8
МА8	20 200 20	24 15 24	16 9 16	15 21 13
МА9	200 20	16 32	8 25	16 7
ВМ65	200	13,5	4	60
МА11	20 250	26,5 22,2	13,5 10,6	12 24,6
МА11	300	13,5	10	51,3
МА13	20 250 300	22 13 12	16 11 10	4 5 6
ВМД-3	20	30	26	13

52. Удельная прочность и жесткость свариваемых сплавов алюминия, титана, магния и некоторых сталей [9]

Сплав	Вид полуфабриката	Удельные характеристики: при растяжении, $\sigma_в^2/\gamma$	при поперечном изгибе, $\sqrt[3]{\sigma_в^2}/\gamma$	при продольном изгибе, $\sqrt{E}/\gamma$	Сплав	Вид полуфабриката	Удельные характеристики: при растяжении, $\sigma_в^2/\gamma$	при поперечном изгибе, $\sqrt[3]{\sigma_в^2}/\gamma$	при продольном изгибе, $\sqrt{E}/\gamma$
МА1	Лист	10,8	4,0	36,3	АМг6	Лист	12,1	3,7	31,5
МА8	»	14,0	4,8	36,0	АМг3	»	7,5	2,7	31,7
МА2	Пруток	15,1	5,0	36,3	ВТ6-С	»	21,4	4,7	24,0
МА2-1	Лист	14,6	4,9	36,6	Сталь 10	»	3,8	1,2	18,0
ВМ65-1	Пруток	17,8	5,6	36,4	Сталь 30ХГСА	»	7,0	1,8	18,0
Д16Т	Лист	15,5	4,4	30,5	Сталь 30ХГСА	Пруток	14,0	2,9	18,0

ТИТАНОВЫЕ СПЛАВЫ

В СССР и за рубежом существует большое количество конструкционных титановых сплавов различного назначения. В качестве легирующих элементов используются: алюминий — представитель α-стабилизирующих элементов; же-

лезо, хром, марганец, молибден, ванадий, ниобий — β-стабилизирующие элементы. Используются также цирконий и олово, относящиеся к типу нейтральных упрочнителей [3].

В связи с определенным характером действия на титан различных легирующих элементов промышленные сплавы по типу структуры могут быть подразделены на три группы: титановые сплавы на основе α-структуры, сплавы на основе β-структуры и двухфазные α + β-титановые сплавы.

Промышленные титановые сплавы с (α + β)-структурой подразделяют на три группы: псевдо- α-сплавы с небольшим количеством β-фазы со свойствами, близкими к α-сплавам, типичные (α + β)-сплавы и псевдо- β-сплавы. Псевдо-β-сплавы представляют собой сплавы на основе β-структуры. В отожженном состоянии их физико-механические свойства и технологические характеристики типичны для β-сплавов, однако β-фаза у этих сплавов термически нестабильна.

Деление конструкционных титановых сплавов по типу структуры и их химический состав приведены в табл. 53.

53. Классификация промышленных титановых сплавов [4]

Тип сплава	Марка сплава	Химический состав, %: Al	Остальные элементы
α-сплавы	ВТ1-00	Нелегированный титан	
	ВТ1-0		
	ВТ5		2,5 Sn
	ВТ5-1		0,2 Pd
	4200	5 Al	
Псевдо-α-сплавы	ОТ4-0	0,8	0,8 Mn
	ОТ4-1	1,5	1,0 Mn
	ОТ4	3,5	1,5 Mn
	ВТ4	5,0	1,5 Mn
	ОТ4-2	6,0	1,5 Mn
	АТ2		2 Zr, 1 Mo
	АТ3	3	1,5 Fe; 1,5 Cr; 1,5 Si; 1,5 B
	АТ4	4	1,5 Fe; 1,5 Cr; 1,5 Si; 1,5 B
	ВТ20	6	2 Zr; 1 Mo; 1V
	ТС5	5	2 Zr; 3 Si; 2 V
(α + β)-сплавы	ВТ6С	5	4 V
	ВТ6	6	4,5 V
	ВТ3-1	6	2,5 Mo; 2 Cr; 0,3 Si; 0,5 Fe
	ВТ14	4,5	3 Mo; 1 V
	ВТ16	2,5	5 Mo; 5 V
	ВТ22	5	5 Mo; 5 V; 1 Fe; 1 Cr
	ВТ23	4,5	2 Mo; 4,5 V; 0,6 Fe; 1 Cr
Псевдо-β-сплавы	ВТ15	3	7 Mo; 11 Cr
		3	5 Mo; 5V; 11 Cr
β-сплавы	4201	—	33 Mo

54. Классификация промышленных титановых сплавов по прочности

Сплав	Состояние	$\sigma_в$, кгс/мм²	δ_5, %
Малопрочный высокопластичный:			
ВТ1-00		30—45	30
ВТ1-0		40—55	30
ОТ4-0	Отожженное	50—65	30
ОТ4-1		60—75	20
АТ2		60—75	20
Среднепрочный:			
ОТ4		70—90	15
АТ3		75—90	12
ВТ5		75—90	10
ВТ5-1		75—90	12
4201	Отожженное	80—85	10
ВТ4		85—100	12
ВТ6-С		85—100	12
АТ4		85—105	10
ТС5		95—110	8
ВТ20		95—115	8
ОТ4-2		100—120	10
Высокопрочный; ВТ6	Отожженное	92—107	10
	Закаленное и состаренное	110	7
ВТ14	Отожженное, закаленное и состаренное	90—107	8
	Отожженное	100—120	10
ВТ31	Закаленное и состаренное	120	6
ВТ16	Закаленное и состаренное	110—125	12
ВТ23		140	5
ВТ15		135—150	4
ТС6		140—150	4
ВТ22	Отожженное, закаленное и состаренное	140—155	5

В табл. 54 приведена классификация промышленных конструкционных титановых сплавов в зависимости от их предела прочности.

Несмотря на сравнительно невысокую прочность, сплавы широко применяются в качестве конструкционных материалов благодаря высокой пластич-

ности. В общем балансе применяемых титановых сплавов сплавы ВТ1-0, ОТ4-1, ОТ4-0 составляют около 20%. Сплавы применяются в изделиях, работающих длительно при низких (—250 ÷ —196 °С) и высоких (300—350 °С) температурах.

Среднепрочные титановые сплавы с пределом прочности 75—80 кгс/мм² (ОТ4, АТ3) являются универсальным конструкционным материалом для сварных конструкций. Титановые сплавы ВТ20, ТС5, ОТ4-2 ($\sigma_в$ = 95 ÷ 105 кгс/мм²) имеют пониженную пластичность. Все среднепрочные сплавы хорошо свариваются, термически стабильны и невосприимчивы к упрочняющей термической обработке. Предназначены для деталей, длительно работающих при температурах до 400—500 °С.

Высокопрочные титановые сплавы марок ВТ6, ВТ23, ВТ15, ТС6 предназначены для применения в термически упрочненном состоянии. Они могут работать в конструкциях, испытывающих длительный нагрев до 400 °С, но применение их ограничивается отдельными деталями и небольшими конструкциями, что связано с трудностями упрочняющей термической обработки крупногабаритных конструкций. Препятствием для широкого применения термоупрочняемых титановых сплавов является низкая пластичность сварных соединений в термоупрочненном состоянии. При плотности в 1,7 раза меньшей, чем у стали, удается получить высокопрочные титановые сплавы с $\sigma_в$ = 180÷200 кгс/мм².

Для изготовления деталей и конструкций, работающих при криогенных температурах, рекомендуется применять титановые сплавы ВТ1-0, АТ2, ВТ5-1, ВТ6С, ВТ15, ОТ4. Сплавы ВТ1-0, АТ2, ОТ4, ВТ5-1 можно использовать при температурах до —253 °С. Сплавы ВТ6С и ВТ14 рекомендуется применять для работы при температурах не ниже —196 °С.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Александров В. Г.** Справочник по авиационным материалам. М., Транспорт, 1972. 328 с.
2. **Ассонов А. Д.** Современные методы термической обработки. М., Машиностроение, 1964. 191 с.
3. **Газоэлектрическая** сварка алюминиевых сплавов. /С. Н. Киселев и др. М., Машиностроение, 1972. 176 с.
4. **Глазунов С. Г., Моисеев В. Н.** Конструкционные титановые сплавы. М., Металлургия, 1974. 368 с.
5. **Лащинский А. А., Толчинский А. Р.** Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Справочник. Л., Машиностроение, 1970. 752 с.
6. **Макаров В. И., Скачков Ю. Н.** Сварка магниевых сплавов. М., Машиностроение, 1972. 121 с.
7. **Машиностроительные** стали. /В. Н. Журавлев и др. Справочник. М., Машиностроение, 1968. 331 с.
8. **Сварка** высокопрочных сталей. /А. М. Макара и др. Киев, Техника, 1971. 140 с.
9. **Потак Я. М.** Высокопрочные стали. М., Металлургия, 1972. 41 с.
10. **Справочник** металлиста/Под ред. А. Г. Рахштадта, В. А. Брострема. М. Машиностроение, 1976, т. 2, 768 с.
11. **Справочник** электросварщика. М., Машгиз, 1962. 752 с.
12. **Термомеханическая** обработка стали. Справочник. М. Металлургия, 1968, т. 2, с. 597—1171.

Глава 3

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Для определения механических свойств сварных соединений согласно ГОСТ 6996—66 проводят испытания:

— металла различных участков сварного соединения и наплавленного металла на статическое (кратковременное) растяжение;

— металла различных участков сварного соединения и наплавленного металла на ударный изгиб (на надрезанных образцах);

— металла различных участков сварного соединения на стойкость против механического старения;

— твердости различных участков сварного соединения и наплавленного металла;

— сварного соединения на статическое растяжение;

— сварного соединения на статический изгиб (загиб);

— сварного соединения на ударный разрыв.

Испытание на статическое (кратковременное) растяжение. При испытаниях на статическое (кратковременное) растяжение определяют следующие характеристики механических свойств:

1) условный ($\sigma_{0.2}$) или физический ($\sigma_т$) предел текучести; 2) временное сопротивление $\sigma_в$; 3) относительное удлинение δ_5 после разрыва на пятикратных образцах; 4) относительное сужение ψ после разрыва.

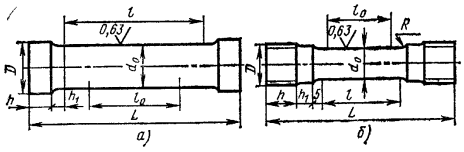


Рис. 1. Образцы для испытаний металла шва, металла различных участков околошовной зоны и наплавленного металла на статическое (кратковременное) растяжение:

а — при нормальной или пониженной температуре; *б* — при повышенной температуре

Испытание проводят для металла шва, металла различных участков околошовной зоны и наплавленного металла при всех видах сварки плавлением.

Образцы отбирают из проб, вырезанных непосредственно из контролируемой конструкции или из контрольных соединений, специально сваренных для проведения испытаний.

Формы и регламентируемые размеры образцов, применяемых для испытания, должны соответствовать рис. 1, *а* и ГОСТ 6996—66. Для испытаний, проводимых при нормальной или пониженной температуре, применяют образцы обоих видов (рис. 1, *а* и *б*). При испытании при повышенной температуре применяют образцы,

представленные на рис. 1, *б*. Дополнительные требования к типоразмерам образцов изложены в ГОСТ 6996—66.

Испытание на ударный изгиб. При испытании на ударный изгиб определяют ударную вязкость металла шва, околошовной зоны (в различных участках) и наплавленного металла. Для испытаний применяют образцы, форма и регламентируемые размеры которых должны соответствовать рис. 2, *а* и *б* ГОСТ 6996—66. Дополнительные требования к типоразмерам образцов изложены в ГОСТ 6996—66.

Образцы испытывают на ударный изгиб на маятниковом копре при одном ударе маятника, наносимом со стороны, противоположной надрезу образца, лежащего на опорах.

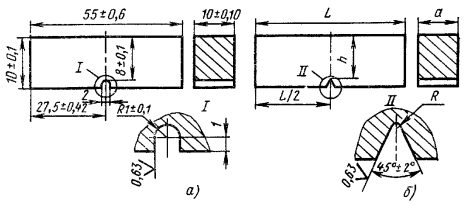


Рис. 2. Образцы для испытаний металла шва, околошовной зоны (в различных участках) и наплавленного металла на ударный изгиб

Ударная вязкость определяется работой $A_ц$, расходуемой на ударный излом образца, отнесенной к рабочей площади поперечного сечения F в месте надреза:

$$a_н = \frac{A_н}{F}.$$

Испытание металла различных участков сварного соединения на стойкость против механического старения. Стойкость против механического старения характеризуется изменением ударной вязкости металла, подвергнутого старению, по сравнению с ударной вязкостью его в исходном состоянии. О стойкости металла против механического старения судят по отношению этих величин, выраженному в процентах, или по абсолютному (нормативному) значению ударной вязкости после старения. Испытания проводят для металла шва и различных участков околошовной зоны.

Заготовки подвергают искусственному старению по методике: деформация растяжением из расчета получения 10±0,5% остаточного удлинения в пределах расчетной длины l, ограниченной кернами или рисками. Рекомендуется на поверхности образцов через каждые 10 мм наносить риски для проверки равномерности деформации по длине расчетной части. После удлинения заготовку подвергают равномерному нагреву в течение 1 ч при 250 °С с последующим охлаждением на воздухе. Из рабочей части заготовок изготовляют образцы, типоразмеры которых представлены в ГОСТ 6996—66. Приведенную методику старения применяют для сварных соединений из сталей. Методика старения для других металлов и сплавов, а также иная температура нагрева или деформации для соединений из стали оговаривается стандартами или другой технической документацией.

Измерение твердости металла различных участков сварного соединения и наплавленного металла. Твердость металла, шва, металла наплавки, наплавленного металла, металла околошовной зоны и основного металла измеряют с помощью приборов Виккерса, Роквелла (шкалы *A*, *B*, *C*) и Бринелля на образцах, вырезанных таким образом, чтобы были охвачены все участки сварного соединения. Допускается вырезать образцы для измерения твердости только одного участка.

Для всех видов соединений твердость измеряют в поперечном сечении образца на макрошлифах. Должна быть обеспечена параллельность сечения шлифа и обработка поверхности в местах измерения с шероховатостью $Ra \geqslant 1{,}25$ мкм. Схемы определения твердости в зонах сварных соединений представлены в ГОСТ 6996—66. Твердость определяют вдавливанием в испытуемый участок образца (изделия) индентора, представляющего собой алмазную пирамиду, алмазный конус или стальной шарик, и пересчетом геометрических параметров полученных отпечатков в соответствующие единицы твердости (*HV*, *HRC*, *HB*).

Испытание сварного соединения на статическое растяжение. При испытании определяют прочность наиболее слабого участка стыкового или нахлесточного соединения; металла шва в стыковом соединении.

Определение прочности наиболее слабого участка стыкового или нахлесточного соединения. При испытании сварного соединения на статическое растяжение определяют временное сопротивление наиболее слабого участка. Испытание проводят, как правило, на образцах, толщина или диаметр которых равны толщине или диаметру металла. При испытании сварного соединения из листов разной толщины более толстый лист путем механической обработки должен быть доведен до толщины более тонкого листа.

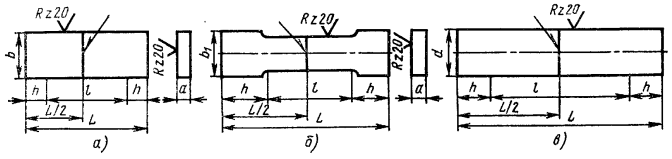


Рис. 3. Образцы для определения прочности наиболее слабого участка стыкового соединения при испытаниях сварного соединения на статическое растяжение

Форма и размер плоских образцов представлены на рис. 3, *а* и *б*. На рис. 3, *в* показан образец для испытаний стыковых соединений стержней. Типоразмеры образцов регламентированы ГОСТ 6996—66.

Утолщение шва должно быть удалено механическим способом до основного металла; при этом разрешается снимать основной металл по всей поверхности образца до 15% толщины металла или диаметра стержня, но не более 1 мм. Строгать утолщение следует поперек шва. Острые кромки плоских образцов должны быть закруглены по радиусу не более 1,0 мм путем сглаживания напильником вдоль кромки. Сварные соединения, выполненные контактной сваркой и электрозаклепками, испытывают на срез или на отрыв растяжением образцов, размеры которых регламентируются ГОСТ 6996—66. При испытании определяют разрушающую нагрузку на образец (точку).

Определение прочности металла шва в стыковом соединении. При испытании прочности металла шва в стыковом соединении определяют его временное сопротивление. Толщина или диаметр образца должны быть равны толщине или диаметру основного металла. Форма и размеры плоского и цилиндрического образцов представлены соответственно на рис. 4, *а* и *б* и регламентированы ГОСТ 6996—66. Поперечная ось образцов должна совпадать с осью шва.

Временное сопротивление

$$\sigma_в = k\frac{P}{F},$$

где k — поправочный коэффициент; P — максимальное усилие, кгс; F — площадь поперечного сечения образца в наименьшем сечении до испытания, мм^2,

Для углеродистых и низколегированных конструкционных сталей коэффициент k принимают равным 0,9. Для других металлов коэффициент k устанавливается соответствующей технической документацией. Утолщение шва должно

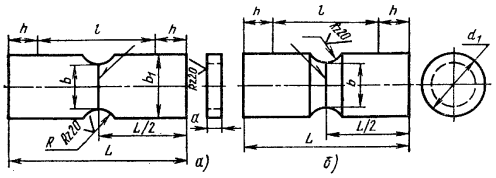


Рис. 4. Образец для определения прочности металла шва в стыковом соединении при испытаниях сварного соединения на статическое растяжение

быть снято механическим способом до основного металла. Строгать утолщение следует поперек шва.

Испытание сварного соединения на статический изгиб. Испытания проводят для стыковых сварных соединений. При испытании определяют способность данного соединения принимать заданный по размеру и форме изгиб. Эта способность характеризуется углом изгиба α при образовании первой трещины в растянутой зоне образца (рис. 5).

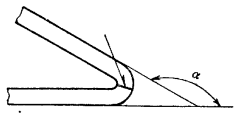


Рис. 5. Схема испытания сварного соединения на статический изгиб

Если трещина не образуется, то испытания в соответствии с требованиями, оговоренными в технической документации, продолжаются до получения нормируемого угла изгиба, параллельности сторон или сплющивания образца. Появление надрывов длиной до 5 мм по кромкам и на поверхности образца, не развивающихся дальше в процессе испытания, браковочным признаком не является.

Форма и размеры образцов для испытания на изгиб представлены соответственно на рис. 6, *а* и *б* и регламентируются ГОСТ 6996—66. Утолщение шва удаляется механическим путем до основного металла. Строгать утолщение для

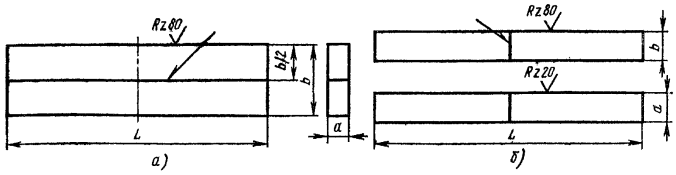


Рис. 6. Образцы для испытания сварного соединения на статический изгиб

образца, представленного на рис. 6, *а*, следует вдоль, а для образца, представленного на рис. 6, *б*, поперек шва.

Испытание сварного соединения на ударный разрыв. Испытание на сопротивление ударному разрыву производят для сварных стыковых соединений листов толщиной до 2 мм. Форма и размеры образца должны соответствовать рис. 7.

Испытание проводят на маятниковых копрах с приспособлением для закрепления плоских образцов. Удельная ударная работа

$$a_y = \frac{A_y}{V},$$

где V — объем расчетной части образца, равный произведению толщины основного металла на расчетную длину и ширину образца, см³.

Условия проведения испытаний. Выбор видов испытаний и применения метода предусмотрен в стандартах и технических условиях на продукцию, устанавливающих механические требования на нее.

Образцы, имеющие отступления от чертежных размеров по шероховатости обработки, а также механические повреждения в рабочей части, к испытаниям не допускаются и заменяются таким же числом новых образцов, изготовленных из той же пробы или контрольного соединения.

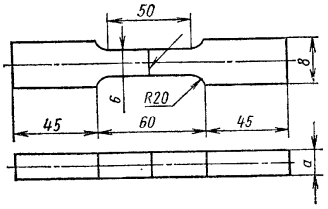


Рис. 7. Образец для испытания сварного соединения на ударный разрыв

Все перечисленные виды испытаний, кроме испытания сварного соединения на статический изгиб и измерения твердости, если нет указаний в соответствующих стандартах или другой технической документации, проводят не менее чем на трех образцах. Испытание сварного соединения на статический изгиб проводят не менее чем на двух образцах. Твердость измеряют не менее чем в пяти точках для каждого участка сварного соединения. Испытание сварных соединений, выполненных точечной и шовной контактной сваркой, если нет других указаний в стандартах, проводят не менее чем на 10 образцах. Результаты по всем видам испытаний определяют как среднее арифметическое результатов, полученных при испытании всех образцов.

Методика определения размеров образцов, требования, предъявляемые к оборудованию для испытаний, условия проведения испытаний, подсчет и оценка результатов должны соответствовать ГОСТ 6996—66, а также:

а) при испытании на статическое растяжение при нормальной температуре — ГОСТ 1497—73, при пониженных температурах — ГОСТ 11150—75, при повышенных температурах — ГОСТ 9651—73;

б) при измерении твердости — ГОСТ 2999—75, ГОСТ 9013—59 и ГОСТ 9012—59.

Другие требования к условиям проведения испытаний, определению размеров образцов, оборудованию для испытаний и подсчету результатов должны оговариваться стандартом или другой технической документацией.

В протоколе испытания указывают **тип** образца, место его отбора, место разрушения (для сварных соединений), температуру испытания, результаты испытания для всех образцов и наличие дефектов в изломе образцов.

СВОЙСТВА

Для определения прочности и пластичности сварных соединений и металла шва проводят испытания при температурах, предусмотренных техническими условиями эксплуатации в соответствии с ГОСТами. Для определения механических свойств в отдельных локальных зонах шва и зоны термического влияния производят испытание микрообразцов с измерением микротвердости соответствующих участков. Применяют также специальные (нестандартные) методы испытаний.

Определяемые характеристики прочности и пластичности могут относиться к металлу шва, зоне термического влияния, к сварному соединению в целом и, для сравнения, к основному металлу.

Прочность и пластичность сварных соединений углеродистых и легированных сталей. В зависимости от механических свойств при растяжении стали, применяемые для стальных строительных конструкций, часто подразделяют на условные классы прочности, именуемые как «классы стали», согласно табл. 1 [12, 21].

Современные способы сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей обеспечивают равнопрочность сварного соединения основному металлу при пластичности, практически не уступающей исходным показателям (табл. 2).

1. Классы стали для строительных конструкций

Класс стали	$\sigma_в$	$\sigma_т$*	δ_5, %
	кгс/см² не ниже		
$C\frac{38}{23}$	3800	2300	25
$C\frac{44}{29}$	4400	2900	21
$C\frac{46}{33}$	4600	3300	21
$C\frac{52}{40}$	5200	4000	19
$C\frac{60}{45}$	6000	4500	16
$C\frac{70}{60}$	7000	6000	12
$C\frac{85}{75}$	8500	7500	10

* При отсутствии выраженной площадки текучести за предел текучести принимают напряжение, соответствующее остаточному относительному удлинению 0,2% ($\sigma_{0,2}$).

Примечание. Цифры в индексе класса обозначают: числитель — минимальное временное сопротивление на разрыв (кгс/мм²), знаменатель — минимальный предел текучести) (кгс/мм²).

2. Свойства металла швов в стыковых сварных соединениях

Металл или сварное соединение	$\sigma_т$	$\sigma_в$	δ_5	ψ
	кгс/мм²		%	
Ст3 в состоянии поставки, образцы диаметром 6 мм	29,3	45,5	36,7	65,9
Сварное соединение из стали Ст3 под керамическим флюсом, сварка в три слоя, толщина 13 мм, образцы диаметром 6 мм вырезаны поперек шва	32,4	47,0	22,1	62,1
Сталь 15ХСНД в состоянии поставки (без термической обработки)	35	50	21	—
Металл шва после автоматической сварки в среде CO_2 пластин из стали 15ХСНД толщиной 14 мм	46,0	65,0	22,2	—

Свойства сварных соединений сталей зависят от температуры эксплуатации.

На прочность и пластичность сварных соединений влияет термическая либо механическая обработка после сварки.

В табл. 3—6 приведены цифровые данные, характеризующие свойства сварных соединений низкоуглеродистых и низколегированных сталей при различных температурах испытания с применением и без применения термической обработки.

Одним из показателей хрупкости и пластичности является ударная вязкость сталей, которая существенным образом зависит от температуры (рис. 8).

3. Предел прочности (временное сопротивление) сварных соединений низкоуглеродистых сталей при различной температуре, кгс/мм²

Марка стали	Толщина листа, мм	Электроды	Состояние испытуемых образцов	Температура испытаний, °С	
				+20	+330
ВСт3сп6	12	УОНИ-13/55	Исходное	49,1	55,0
			После старения	48,0	46,0
ВСт3пс6	12	УОНИ-13/55	Исходное	49,8	61,5
			После старения	49,3	57,0
ВСт3пс6	12	МР-3	Исходное	50,0	60,0
ВСт3	20	УОНИ-13/55	»	46,0	57,8
ВСт3пс6	8	УОНИ-13/55	»	52,0	52,5

4. Свойства сварных швов соединений конструкционных сталей

Свариваемая сталь, сварочные материалы	$T_в$, °С	$\sigma_в$	$\sigma_т$	$a_н$, кгс·м/см²	δ_5	ψ
		кгс/мм²			%	
Б Ст3кп	20	41,8	—	14,0	—	—
Св-08А	−183	45,4	—	0,47	—	—
Ст3, полуавтоматическая сварка	20	55,1	38,9	6,5	17,8	30,1
12Х18Н10Т	20	57,5	—	14,1	36,7—45	—
ЭЩС	−180	102,5	—	3,55	17,6—18,0	—
12Х18Н10Т, в защитных газах, $\delta = 1{,}4$ мм	+20	60,4	—	—	38,2	—
	−70	89,4	—	—	48,1	—
	−196	120,2	—	—	33	—
12Х18Н10Т, ручная сварка	20	68,7	—	—	37	—
	−40	89	—	—	31	—
Электроды ЦЛ2, $\delta = 8$ мм	−75	90,8	—	—	29	—
	−183	109	—	—	18	—

5. Механические свойства при 20 °С

Тип электрода	Металла шва или наплавляемого металла			Сварные соединения, выполненные электродами диаметром менее 3 мм	
	$\sigma_в$, кгс/мм²	δ_5, %	$a_н$, кгс·м/см²	$\sigma_в$, кгс/мм²	Угол изгиба, градусы
Э38	38	14	3	38	60
Э42	42	18	8	42	150
Э46	46	18	8	46	150
Э50	50	16	7	50	120
Э42А	42	22	15	42	180
Э46А	46	22	14	46	180
Э50А	50	20	13	50	150
Э55	55	20	12	55	150
Э60	60	18	10	60	120
Э70	70	14	6	—	—
Э85	85	12	5	—	—
Э100	100	10	5	—	—
Э125	125	8	4	—	—
Э150	150	6	4	—	—

6. **Влияние термической обработки на механические свойства металла шва сварных соединений низкоуглеродистой стали**

Состояние металла шва после	Последний слой многослойного шва (автоматическая сварка под флюсом)					Электрошлаковая сварка				
	$\sigma_т$	$\sigma_в$	δ_5	ψ	$a_н$, кгс·м/см²	$\sigma_т$	$\sigma_в$	δ_5	ψ	$a_н$, кгс·м/см²
	кгс/мм²		%			кгс/мм²		%		
Сварки	31,4	46,3	25,5	62,2	10,5	32,5	46,7	23,3	56,0	8,2
Отпуска при 660 °С	25,7	43,3	33,1	69,9	12,5	31,3	46,3	24,1	56,8	7,8
Нормализации	24,0	38,2	35,1	72,1	15,7	30,7	46,4	34,7	57,3	17,9
Отжига	22,0	39,6	35,3	75,5	13,4	—	—	—	—	—
Закалки	34,9	54,4	24,4	—	8,0	—	—	—	—	—

Примечание. Состав металла шва при сварке под флюсом: 0,12% С; 0,75% Mn; 0,22% Si; при ЭШС: 0,14% С; 0,8% Mn; 0,07% Si.

7. **Зависимость механических свойств металла шва от содержания углерода в углеродистой стали и состава сварочной проволоки**

Содержание углерода в свариваемом металле, %	Марка проволоки	Механические свойства шва после нормализации и отпуска, не менее				$a_н$, кгс·м/см² (надрез Менаже по оси шва)			
		$\sigma_т$	$\sigma_в$	δ_5	ψ	после сварки		после отпуска		после нормализации и отпуска	
		кгс/мм²		%		−20 °С	+20 °С	−20 °С	+20 °С	−20 °С	+20 °С
До 0,14	Св-08	22	38	24	55	1,5	7,0	1,5	7	5	14
	Св-10Г2	26	42	26	55	1,5	8	1,5	8	6	14
0,15—0,20	Св-08	23	40	24	53	1,5	7	1,5	7	4	12
	Св-10Г2	27	44	22	50	1,5	7	1,5	7	5	12
0,21—0,26	Св-08	26	42	23	55	1	4,5	1	4,5	3,5	8
	Св-10Г2	30	48	22	50	1	5	1	5	4	10
0,27—0,32	Св-10Г2	33	54	20	45	0,5	3	1,0	3	3	7
0,33—0,40	Св-10Г2	34	57	18	40	0,5	2	0,5	2	2,5	6

В зависимости от содержания углерода в свариваемом металле и марки присадочной проволоки прочность и пластичность сварных соединений меняются (табл. 7).

Прочность сварного соединения в значительной степени определяется прочностью зоны термического влияния (ЗТВ). Разрушение часто происходит именно

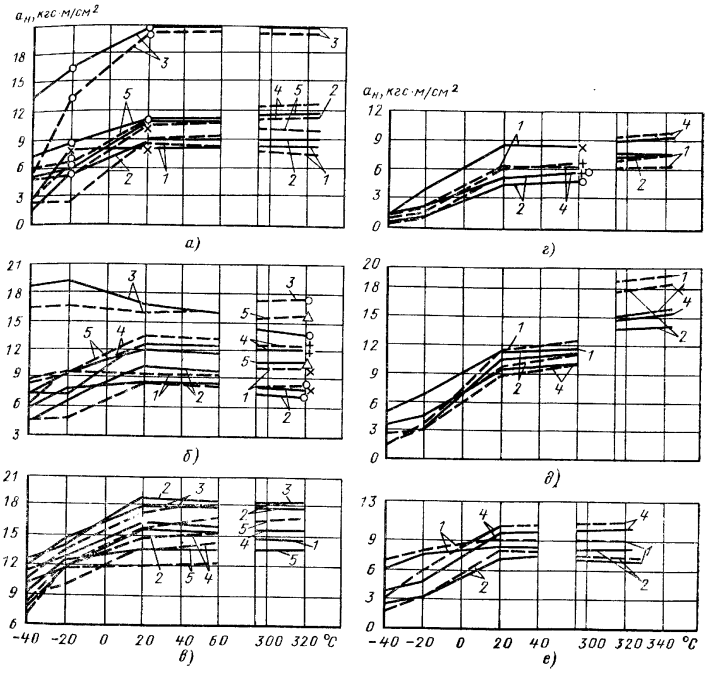


Рис. 8. Зависимость ударной вязкости от температуры испытания образцов в исходном состоянии (сплошная линия) и после старения (штриховая линия):

а — основной металл (надрез Менаже); *б* — металл шва (надрез Менаже); *в* — зона термического влияния (надрез Менаже); *г* — основной металл (надрез Шарпи); *д* — металл шва (надрез Шарпи); *е* — зона термического влияния (надрез Шарпи); *1* — ВСт3сп6; *2* — ВСт3пс6; *3* — 18Гпс; *4* — 18ГФпс; *5* — 18Г2АФпс (ЧМТУ 1-741-69)

в этой области. Сварные соединения углеродистых и низколегированных сталей без последующей термической обработки могут иметь пониженную пластичность ЗТВ при одновременном увеличении прочности в результате подкалки, связанной с быстрым охлаждением.

С увеличением скорости охлаждения металла пределы прочности и текучести возрастают, а относительное удлинение и сужение падают [16]. Характер изменения механических свойств одинаков для всех марок сталей.

Механические свойства зоны термического влияния зависят также от температуры наибольшего нагрева. Предел текучести и поперечное сужение практически не зависят от температуры максимального нагрева металла ЗТВ в рассматриваемом диапазоне температур. В то же время с уменьшением ее предел прочности металла несколько снижается, а относительное удлинение сначала незначительно растет, а потом снижается. Небольшое повышение относительного удлинения отмечается на участке нормализации металла ЗТВ.

Механические свойства ЗТВ могут зависеть от сварочных пластических деформаций [3]. С увеличением продольных пластических деформаций ε_x предел текучести ЗТВ, а также и зоны пластических деформаций (ЗПД) возрастает больше, чем временное сопротивление. Это аналогично воздействию предварительных пластических деформаций на механические свойства металла и особенно на предел текучести.

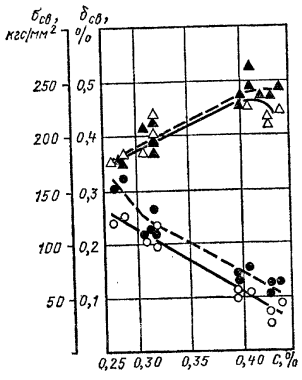


Рис. 9. Влияние содержания углерода на прочность (темные и светлые треугольники) и пластичность (темные и светлые кружки) основного металла (сплошные линии) и сварного соединения (штриховые линии)

Различные химические элементы, входящие в состав металла, могут улучшать или ухудшать механические свойства. Содержание серы в углеродистых сталях ограничивается 0,05%; повышение содержания серы резко снижает прочность металла шва. На свойства сварных швов углеродистых сталей влияет содержание бора. Наличие бора способствует образованию структуры, близкой к структуре зернистого бейнита. Оптимальное содержание бора приблизительно равно 0,002%.

На свойства сварного шва благоприятно влияет марганец; увеличение содержания марганца влечет за собой измельчение структуры. Различные методы сварки обеспечивают получение швов различной прочности. Так, сравнение сварки под флюсом и металлическим плавящимся электродом в среде защитных газов показывает, что большей прочностью обладают швы, полученные сваркой металлическим электродом в среде инертного газа. Это объясняется более эффективным переходом марганца в шов, измельчением структуры и уменьшением вносимого тепла. При определении прочности сварных соединений одним из основных является вопрос о влиянии дефектов на механические свойства [13, 14]. Несплавления, шлаковые включения, пористость, непровары и другие в различной степени снижают прочностные характеристики металла шва.

При статической нагрузке дефекты, занимающие до 10% площади, заметно не влияют на прочность шва. Поры в сварных швах на стальных соединениях различно влияют на статическую прочность при продольном и поперечном направлениях нагрузки относительно шва. При поперечном направлении нагрузки пористость оказывает большее влияние. Число пор, уменьшающих поперечное сечение на величину менее 7%, практически не влияет на статическую прочность. При увеличении числа пор статическая прочность может резко снижаться. Более опасны поры, расположенные цепочкой, чем одиночный дефект той же площади.

Высокопрочные легированные стали содержат до 0,45% С и легированы Cr, Ni, Si, Mn, V, Mo, Ti, что обеспечивает хорошее сочетание прочности ($\sigma_в$ = = 170 ÷ 210 кгс/мм²) и пластичности ($\delta_5 \geqslant 8 \div 10\%$). В зависимости от содержания углерода (рис. 9) свойства сварных соединений существенно изменяются

(данные приведены для стали КВК с послесварочной закалкой с 440 °С, 30 мин, охлаждением на воздухе и низким отпуском с 220 °С, 2 ч). Увеличение содержания углерода более 0,4% снижает прочность соединений и основного металла. Одной из причин снижения прочности и пластичности сварных соединений может быть местное повышение содержания углерода, вызванное химической неоднородностью основного металла и металла шва. Прочность и пластичность могут быть повышены путем применения термической обработки. При содержании 0,39—0,42% С оптимальное соотношение прочности и пластичности наблюдается в высокопрочных среднелегированных сталях типа КВК, используемых, например, для сварных сосудов давления (гомогенизация металла до прокатки позволяет

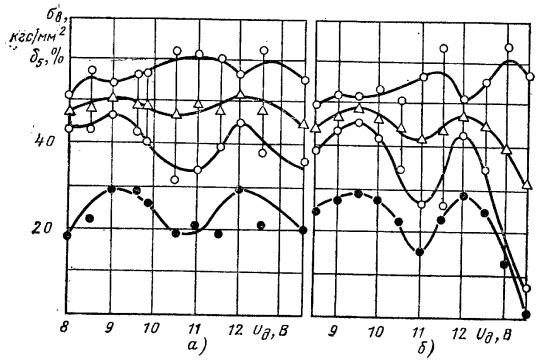


Рис. 10. Влияние напряжения дуги на механические свойства соединений толщиной:

а — 1 мм (I = 56 А, $v_{св}$ = 0,67 см/с); *б* — 1,5 мм (I = 80 А, $v_{св}$ = = 0,67 см/с); △ — предел прочности; ● — относительное удлинение; ○ — предел прочности (разброс)

значительно повысить пластичность соединения до пластичности основного металла без изменения прочности). Изотермический отжиг стали с содержанием 0,4—0,43% С способствует повышению прочности на 10—15% и пластичности приблизительно на 50%. Параметры режима сварки различно влияют на механические свойства сварных швов. Исследование влияния тока, скорости сварки, напряжения дуги и погонной энергии на механические свойства соединений сталей типа 12Х18Н10Т, сваренных аргонодуговой сваркой вольфрамовым электродом, показывает, что напряжение $u_д$ на дуге является важнейшим параметром режима; отклонения $u_д$ от установленных значений оказывают большое влияние на свойства сварных соединений. Оптимальные механические свойства $\sigma_в$ и δ_5 при статических нагрузках получаются при минимальных значениях $u_д$ (рис. 10). На механические свойства сварных соединений влияют способы сварки и режимы термической обработки сварных соединений и основного металла [15]. Исследования, проведенные на толстолистовой стали 12Х2МФА, показывают, что прочность металла шва, выполненного электрошлаковой (ЭШС) сваркой, выше на 10%, чем при автоматической сварке под флюсом, и на 17% выше, чем при электронно-лучевой сварке (ЭЛС). Относительное сужение при ЭШС и ЭЛС практически одинаково, но выше, чем при автоматической сварке под флюсом, из-за рафинирования металла (табл. 8),

8. Механические свойства сварных соединений стали 12Х2МФА (ЧМТУ ЦНИИЧМ 982—63)

Место вырезки образца	$\sigma_в$ кгс/мм²	$\sigma_{0,2}$ кгс/мм²	ψ, %	Место вырезки образца	$\sigma_в$ кгс/мм²	$\sigma_{0,2}$ кгс/мм²	ψ, %
Основной металл	54/50	38/37	75/67	выполненный автоматической сваркой под флюсом после отпуска	64/54	52/41	64/65
Металл шва: по данным ЦНИИТМаша	52/46	36/38	55/40	свареный электронным лучом после отпуска при 690 °С:			
по данным лабораторных испытаний	58/50	40/38	50/40	5 ч	66/54	48/43	72/62
Шов: выполненный электрошлаковой сваркой после закалки и отпуска	69/58,5	53/51	75/73	10 ч	59/52	45/40	75/68
				15 ч	59/52	45/40	75/70

Примечание. В числителе приведены механические свойства соединений при 20 °С, в знаменателе при 350 °С.

9. Свойства сварных соединений стали 10Г2БД (толщина 12 мм)

Способ повышения пластичности	Сталь	$\sigma_в$, кгс/мм²	α, °
Ручная сварка			
Отпуск газовой горелкой	Горячекатаная	75,3	73,3
То же	Нормализованная	80,3	79,5
»	Горячекатаная	76,5	110
»	Нормализованная	73,0	102
Оплавление границ шва в аргоне	Горячекатаная	79,0	112
То же	Нормализованная	78,3	110
Наплавка дополнительных мягких валиков	Горячекатаная	79,0	110
То же	Нормализованная	74,5	135
»	Горячекатаная	70,0	74
Автоматическая сварка (проволока Св-08ХМ, флюс АН-8)			
Наплавка дополнительных мягких валиков	Нормализованная	70,7	78
Оплавление границ шва в аргоне	Горячекатаная	79,6	130
То же	Нормализованная	76	140
Наплавка дополнительных мягких валиков	Горячекатаная	76	130
То же	Нормализованная	72	170

При сварке сталей повышенной прочности часто снижается пластичность соединений, особенно по линии сплавления [2]. Для повышения пластичности может быть рекомендован местный отпуск кислородоацетиленовым пламенем, оплавление границ шва аргонодуговой сваркой и нанесение дополнительных мягких валиков по линии сплавления. При ручной и автоматической сварке высокопрочной стали 10Г2БД проволокой Св-08ХМ под флюсом АН-8 (табл. 9) соединения равнопрочны основному металлу, но имеют низкую пластичность (α = 70 ÷ 80°). При автоматической сварке проволокой Св-08ГА под флюсом АН-348-А прочность соединений снижается до 68—70 кгс/мм², а α увеличивается до 90—140°.

Для повышения пластичности сварных соединений высокопрочных сталей могут быть применены электроды, содержащие в покрытиях редкоземельные металлы (РЗМ). Введение окислов РЗМ в покрытие [5] электродов основного типа при сварке стали 14Г2АФ повышает пластичность и вязкость металла шва. Оптимальное сочетание прочности, пластичности и вязкости при температурах до —70 °С при сварке термоупрочненной стали 14Г2АФ с $\sigma_т$ = 60 кгс/мм² достигается при использовании электродов типа 360 с содержанием в покрытии 5—10% окислов редкоземельных элементов (табл. 10 и 11).

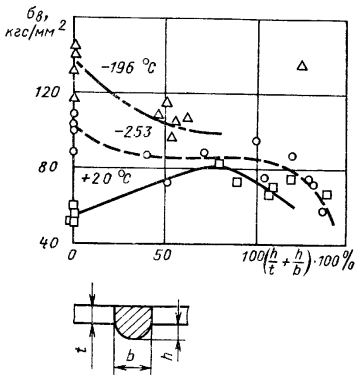


Рис. 11. Зависимость прочности соединений из стали 36Х18Н25С2, сваренных проволокой 08Х15Н24Б4ТР, от проплава при различных температурах

Для высокопрочных сталей важное значение имеют дефекты сварки, такие как смещение кромок, поры, трещины, непровары, нарушения геометрических размеров сечений. При сварке стали СП-43 смещение кромок в листовых соединениях толщиной до 5 мм на 40% приводит к снижению $\sigma_в$ сварного соединения со 175 до 120 кгс/мм². Зависимость прочности соединений от проплава приведена на рис. 11. Сварные соединения высокопрочных сталей весьма чувствительны к точности выполнения геометрических размеров сварного соединения, и незначительные отклонения приводят к существенному снижению временного сопротивления.

В табл. 12—16 приведены механические свойства сварных соединений различных сталей при статических нагрузках и различных условиях сварки [23].

10. Свойства сварных соединений и типы покрытий электродов, содержащих окислы РЗМ

Тип покрытия	$\sigma_в$ кгс/мм²	$\sigma_т$ кгс/мм²	δ_5, %	$a_н$, кгс·м/см² при T, °С: +20	−40	−70
1	65,5—73,0 / 69,5	60,0—63,0 / 62,5	18,5—20,0 / 19,5	11,3—12,0 / 11,2	3,3—8,8 / 5,2	2,0—4,5 / 2,2
2	68,5—70,5 / 69,5	54,5—55,5 / 55,0	24,5—27,5 / 26,5	15,0—16,3 / 16,2	11,0—13,8 / 12,0	6,3—10,0 / 8,7
3	63,5—64,0 / 63,5	48,5—49,5 / 48,7	25,0—30,0 / 27,5	16,0—17,6 / 16,6	12,5—15,0 / 13,3	10,0—15,0 / 12,4
4	52,0—53,0 / 52,0	39,5—42,0 / 41,5	25,0—27,0 / 27,0	17,5—19,0 / 18,4	9,0—11,0 / 10,0	6,5—6,8 / 6,6

Примечание. В числителе приведены минимальная и максимальная ударная вязкость металла шва четырех испытанных образцов, а в знаменателе — среднее значение.

11. Содержание элементов, %

Тип покрытия	C	Cu	Si	Ni	Mo	S	P	Ce
1	0,08	1,16	0,48	0,92	0,41	0,020	0,018	—
2	0,12	1,08	0,50	1,05	0,43	0,014	0,0195	0,007
3	0,11	0,82	0,38	1,06	0,41	0,016	0,020	0,009
4	0,11	0,91	0,45	1,04	0,39	0,024	0,019	0,03

12. Механические свойства швов сварных соединений стали 10Х14Г14Н4Т

Толщина, мм	Электроды и сварочная проволока	Температура испытаний, °С	$\sigma_в$, кгс/мм²	$\sigma_т$, кгс/мм²	$a_н$, кгс·м/см²	δ_5, %	ψ, %
			Ручная сварка				
6	ЭНТУ-3	+20	72	15,3	—	—	—
	Св-04Х19Н9	−183	128	5,0	—	—	—
12	ЭНТУ-3	+20	70,6	28,8	14,1	33,4	38,4
	Св-04Х19Н9	−183	121	38,8	6,2	28,6	29,3
		−196	—	—	5,3	—	—
6	ЭНТУ-3	+20	74,3	—	12,6	—	—
	10Х14Г14Н4Т	−183	128,2	—	5,0	—	—
12	ЭНТУ-3	10	81,1	—	12,6	—	—
	10Х14Г14Н3Т	−196	122,2	—	3,8	—	—
10	ЭНТУ-3	+20	72,9	30,9	16,2	33,3	46,1
	Св-04Х19Н9	−196	85,5	52,3	4,6	10,4	11,3
10	ЭНТУ-3	+20	97,3	34,9	12,1	46,6	39,7
	10Х14Г14Н4Т	−196	102,4	42,8	3,3	16,4	
10	ЭИО	+20	—	—	14,0	—	—
	Св-07Х25Н13	−196	111,5	55,5	1,8	21,3	17,2
			Сварка под флюсом АН-26С				
10	Св-04Х19Н9	+20	79,6	27,2	16,4	57,8	61,1
		−196	137	—	9,7	32,6	32,8
10	10Х14Г14Н4Т	20	73,5	27,0	17,1	49,0	47,2
		−196	131,6	42,4	12,6	31,1	30,7
			Автоматическая сварка в среде аргона				
	10Х14Г14Н4Т	20	80,6	32,2	17,4	53,9	63,1
		−196	127,5	48,5	7,9	29,8	28,2
	Св-Х15Н13Г6	20	64,0	29,5	13,7	27,5	51,3
		−196	129,0	43,7	7,1	36,1	39,1

13. Механические свойства металла шва (свариваемая сталь — 35Х2ГСВ) при различных режимах поперечных перемещений неплавящегося электрода

Режим поперечных перемещений	$\sigma_в$, кгс/мм²	δ_5, %	ψ, %	Содержание С % в шве
Без перемещений	173,0	10,2	51	0,31
Амплитуда, мм:				
2	176,3	9,6	53,6	0,33
3,5	186,6	12,7	62,7	0,38
3,5	187,0	11,5	56,8	0,36
3,5	177	12,3	55,1	0,34

14. Сварочные материалы, применяемые для сварки некоторых среднелегированных сталей, и механические свойства металла швов

Термическая обработка сварного соединения	Сварка	Марка электрода, сварочной проволоки и флюса	$\sigma_в$, кгс/мм²	δ_5, %	$a_н$, кгс·м/см²
			Не менее		
		25ХГСА и 30ХГСА			
Закалка и высокий отпуск, $\sigma_в$ = 90 кгс/мм²	Покрытыми электродами	ВИ-10-6, Св-18ХМА	80	18	4
		Св-18ХМА, АН-348-А	80	18	4
	Под флюсом	Св-18ХМА, АН-20С	80	18	6
		20Х4ГМА, АН-20С	90	14	7
		20Х4ГМА, АН-20СМ	90	15	12
	В CO_2	Св-08ГСМТ	80	18	6
	Электрошлаковая	Св-18ХМА, АН-8	100	—	6
Закалка и средний отпуск, $\sigma_в$ = 130 кгс/мм²	Покрытыми электродами	ВИ-10-6 (Св-18ХМА), НИАТ-5	100	—	6
	Под флюсом	Св-18ХМА, АН-348-А	100	—	4
		Св-18ХМА, АН-20С	100	—	6
		20Х4ГМА, АН-20С	130	8	5
		20Х4ГМА, АН-20СМ	130	9	6
	В CO_2	Св-08Х3Г2СМ	110	12	5
	Электронно-лучевая	—	125	11	5
Без термической обработки	Покрытыми электродами	ВИ-10-6 (Св-0,8)	70	—	3
		ВИ-10-6 (Св-18ХМА)	75	—	2
		ВИ-10-6 (Св-04Х19Н11М3)	55	—	10
	Электронно-лучевая	—	125	12	5
		30ХГСН2А			
Закалка в масле и низкий отпуск, $\sigma_в$ = 160 ÷ 180 кгс/мм²	Покрытыми электродами	ВИ-10-6 (Св-18ХМА)	100 150	—	6
	Под флюсом	Св-18ХМА, АН-20С	110	16	6
		20Х4ГМА, АН-20СМ	120	16	6
		20Х4ГМА, АН-20СМ	130	12	6
	Электронно-лучевая ЭШС	—	170	15	6
		Св-18ХМА, АН-8	120	16	4

Продолжение табл. 14

Термическая обработка сварного соединения	Сварка	Марка электрода, сварочной проволоки и флюса	$\sigma_в$, кгс/мм²	δ_5, %	$a_н$, кгс·м/см²
			Не менее		
Без термической обработки	Покрытыми электродами	ВИ-10-6, Св-04Х19Н11М3	55	—	12
	Под флюсом	Св-08Х20Н9Г7Т, АН-22	60	20	9
35Х2ГСВ					
Закалка и низкий отпуск $\sigma_в = 200 \pm 10$ кгс/мм²	Под флюсом	20Х4ГМА, АН-20СМ	180	—	5
	Аргонодуговая	25Х3М1ФА	190	10	5
	Электронно-лучевая	25Х3М1ФА	190	10	5
20ХМА					
Нормализация и высокий отпуск	Покрытыми электродами	ЦЛ-11	55	—	12
	Под флюсом	Св-10Х5М, АН-20С	55	20	12
	Электрошлаковая	Св-08Х3Г2СМ, АН-8	70	18	8
30ХН2МА					
Закалка и высокий отпуск	Электрошлаковая	Св-10ХН2ГМТ, АН-8	80	18	9
Без термической обработки	Покрытыми электродами	Св-08Х3Г2СМ, АН-8	100	14	9
		Св-08Х20Н9Г7Т	55	—	9
	Под флюсом	Св-10ХН2ГМТ, АН-20С	75	20	10
		Св-08Х20Н9Г7Т, АН-22	60	25	12
	В CO_2	Св-10ХН2ГМТ	70	20	12
Высокий отпуск	Покрытыми электродами	ЦЛ-11	62	20	16
	Под флюсом	Св-10Х5М, АН-20С	55	20	12
Без термической обработки, конструкции, работающие при 450 °С	Покрытыми электродами	ЦЛ-11, ОЗЛ-8 ОЗЛ-12, НИИ-75 Св-07Х25Н13	55	25	8
	Под флюсом	Св-08Х20Н9Г7Т, АН-22	60	25	12
	Покрытыми электродами	НИАТ-5, Св-10Х16Н25АМ6	60	30	10
	Под флюсом	АН-26С, Св-10Х16Н25АМ6, АН-26СП	60	30	10

15. Механические свойства среднелегированных сталей и металла шва

Металл	Сварка	Участок соединения	$\sigma_в$	$\sigma_т$	δ_5	ψ	$a_н$, кгс·м/см²
			кгс/мм²		%		
25Х3М1ФА	Аргонодуговая с поперечным колебанием электрода	Шов	187	158,2	11,5	56,8	5,9
		Основной металл	170	152	8,3	47,4	4,8
42Х2ГСНМА	Электронно-лучевая	Шов	184	—	15,6	54,5	5,2
		Основной металл	182,8	144,1	9,6	26	4,3
20ХМА	То же	Шов	66,0	57,5	28,9	72	22,5
		Основной металл	61,3	48,5	24,5	62,8	18,7

16. Механические свойства металла швов низкоуглеродистых и низколегированных сталей, выполняемых отечественными электродами с рутиловым покрытием

Марка электрода	Тип покрытия	$\sigma_т$	$\sigma_в$	δ_5, %	$a_н$, кгс·м/см² при T, °С	
		кгс/мм²			+20	—40
АНО-4	Рубин-карбонатное	38—40	47—49	25—28	14—16	9—11
АНО-5	То же	35—38	45—50	24—28	12—15	8—10
МР-3	»	37—39	47—49	24—28	14—16	8—10
ОЗС-4	Рутил-алюмосиликатное	37—39	47—50	22—24	10—14	6— 9

17. Влияние легирующих элементов на механические свойства металла шва

Содержание, %					$\sigma_в$, кгс/мм²	δ_5, %
C	Si	Mn	Cr	Mo		
0,08	0,5	0,5	—	—	48	35
0,08	0,5	1,5	—	—	55	30
0,08	0,5	0,7	—	0,6	60	25
0,08	0,5	1,5	—	0,5	70	25
0,12	0,5	0,8	1,0	0,5	80	15
0,15	0,5	0,8	1,0	0,2	90	12

18. Механические свойства швов, выполненных некоторыми электродами с фтористо-кальциевым покрытием

Марка электрода	Тип электрода по ГОСТ 9467—75	$\sigma_т$	$\sigma_в$	δ_5, %	$a_н$, кгс·м/см²	
		кгс/мм²			+20	—40
УОНИ-13/45	Э42А	35—38	45—50	25—30	22—26	16—20
УОНИ-13/55	Э50А	40—44	52—54	24—28	18—22	12—16
СМ-11	Э42А	36—38	48—50	26—29	20—25	14—17
АНО-7	Э50А	40—44	52—56	26—30	20—25	14—16
АНО-8	Э46А	37—40	48—52	28—33	22—27	15—20

19. Механические свойства металла швов, выполненных электродами с органическим покрытием, применяемых для сварки первого слоя поворотных и неповоротных стыков трубопроводов из низкоуглеродистых и низколегированных сталей

Марка электрода	Тип электрода по ГОСТ 9467—75	$\sigma_т$, кгс/мм²	$\sigma_в$, кгс/мм²	δ_5, %	$a_н$, кгс·м/см² при T, °С: +20	$a_н$, кгс·м/см² при T, °С: —40
ВСЦ-4	Э42	35—49	44—52	20—28	11—16	7—10
ВСЦ-4А	Э50	40—48	51—60	18—28	10—16	7—9

20. Типичные механические свойства металла швов, выполненные электродами для сварки теплоустойчивых сталей

Марка электрода	T, °С испытаний	$\sigma_т$, кгс/мм²	$\sigma_в$, кгс/мм²	δ_5, %	ψ, %	$a_н$, кгс·м/см²
ЦЛ11	20	40,1	51,0	25,7	69,8	15,0
	550	26,9	36,5	22,6	66,0	4,8
ЦЛ14	20	38	53	19	—	9
ЦЛ30-63	20	50	65	16	50	12
ЦЛ20-63	20	48	59	20	67	14,4
ЦЛ17-63	540	36	48	17,4	66	9,3
	450	38,6	46,8	16,8	63,8	25,4
	20	44	65	18	76	15

21. Характеристики некоторых электродов, применяемых для сварки среднелегированных высокопрочных сталей

Марка электрода	Марка проволоки для стержней	$\sigma_в$, кгс/мм²	δ_5, %	$a_н$, кгс·м/см²	Свариваемые стали
ЭА-464/5А	Св-10Х20Н15	58	30	10	Среднелегированные высокопрочные
ЭА-395/9	Св-10Х16Н25АМ6	62	30	12	То же
НИАТ-5	Св-10Х16Н25АМ6	60	30	10	30ХГСА, 30ХГСН2А и др.
ЦЛ18-63	Св-18ХГС	92	13	8,5	20ХГСА, 25ХГСА, 30ХГСА
ВИ-10-6	Св-18ХМА	100	10	5	Низколегированные конструкционные стали

Механические свойства металла шва изменяются при введении в покрытие ферромарганца и ферросилиция; при этом степень легирования марганцем и кремнием также изменяется. В табл. 17—21 приведены механические свойства сварных соединений и электродов, используемых для сварки сталей повышенной прочности.

Прочность и пластичность сварных соединений алюминиевых сплавов. Свойства сварных соединений алюминиевых сплавов определяются составом и свойствами основного и присадочного металлов, их состоянием, типом соединения, технологией сварки, чистотой защитного газа, флюса и поверхности изделия.

При сварке листов из алюминия марок АД1, АДО, сплава АМцМ прочность соединений может составлять 70—100% прочности основного металла, причем $\sigma_в$ увеличивается с уменьшением толщины. Нагартованные алюминиевые сплавы разупрочняются в околошовной зоне под воздействием термического цикла сварки. Поэтому прочностные свойства сварных соединений нагартованных сплавов практически такие же, как у сплавов отожженных и горячекатаных.

Высокой прочностью и пластичностью обладают сварные соединения сплавов системы Al — Zn — Mg, а также типа магналия и авиаля. Относительная прочность сварных соединений сплавов типа магналия толщиной до 3 мм составляет 90—95% при сварке неплавящимся и плавящимся электродами в среде аргона или в смеси аргона с гелием. Механические свойства сварных соединений, выполненных сваркой в среде защитных газов, приведены в табл. 22—24. [6, 11].

Механические свойства сварных соединений зависят от чистоты защитного газа (табл. 25).

22. Отношение предела прочности сварного соединения к пределу прочности основного металла (толщиной 2 мм)

Сплав	Тип соединений	$\sigma'_в/\sigma_в$, %: Ручная сварка	$\sigma'_в/\sigma_в$, %: Автоматическая сварка
АМцМ	Стыковое	90—95	97—100
	Нахлесточное	85—90	95—97
АМцП	Стыковое	65—75	70—80
	Нахлесточное	65—75	65—80
АМгМ	Стыковое	90—95	90—97
АМг6Т	»	90—92	90—95
Д16М	»	80—85	85—94
Д16 (закалка после сварки)	Стыковое	65—72	70—73
	Нахлесточное	60—65	60—65
Д16	Стыковое	50—65	65—75
	Нахлесточное	50—65	50—62
В95	Стыковое	90—92	—

23. Механические свойства сварных соединений при 20 °С и повышенной температуре

Сплав	$\sigma'_в$: % к основному металлу, 20°	$\sigma'_в$, кгс/мм² при T, °С: 20	200	250	Угол изгиба, α°
АД1М	100	8,5	—	—	—
АМцМ	100	12,1	—	—	—
АМцП	63	12,0	—	—	—
АМг1М	98	8,8	—	—	—
АМг1Н	55	9,3	7,3	5,9	—
АМг2М	97	19,5	14,0	11,6	—
АМг3М	95	22,5	13,5	—	—
АМг5М	100	30,5	20,8	18,3	—
АМг6М	100	37,5	20,5	14,8	90
АМг6П	86	37,5	25,0	—	93
АМг6Н	78	36,6	26,0	—	78
Д16М	91	20,6	—	—	—
Д16ТН*1	85	36,3	—	—	—
Д16Т*2	65	27,1	—	—	—
В92*3	95	37,3	18,2	12,6	97

*1 Закалка, естественное старение, наклеп.

*2 Закалка, естественное старение.

*3 Старение 30 суток.

24. Механические свойства сварных соединений сплавов типа магналия

Сплав	Толщина, мм	Присадочная проволока	Ручная сварка неплавящимся электродом		Автоматическая сварка плавящимся электродом	
			$\sigma_в$, кгс/мм²	$\alpha°$	$\sigma_в$, кгс/мм²	$\alpha°$
АМг6М	8	АМг6 АМг5	31 31	135 155		
	10	АМг6 АМг5	31 31	130 150	28	40
	15	АМг6	29	33	30	45
	40	АМг5	28	—	28	—
АМг5М АМг5П	8	АМг5	28	150	—	—
	10	АМг5	28	100	—	—
	30	АМг6	30	14	—	—
АМг3	8	АМг5	19	122	—	—
		АМг3	20	180	—	—
АМг1	8	АМг5 АМг	18,5 19	180 180	— 20	— 180
	20	АМг	18	66	20	60
		АК	16	14	17	16

Механические свойства при испытании на срез и растяжение существенно различаются. В табл. 26 приведены механические свойства фланговых и лобовых швов, работающих на срез (рис. 12), а в табл. 27 — стыковых сварных соединений из сплава АМг61.

25. Механические свойства сварных соединений плит толщиной 15 и 20 мм из сплава АМг6 в зависимости от чистоты аргона

Содержание газов в аргоне, %		$\sigma'_в$, кгс/мм²	Угол изгиба $\alpha°$
кислорода	азота		
0,05—0,1	0,23—0,27	23,2	17,6
0—0,02	0—0,06	30,4	43

Соединения большой толщины могут быть сварены с применением мощных концентрированных источников, например сварной трехфазной дугой. Соединения листов из сплава АМц толщиной 40 мм, выполненные однопроходной автоматической сваркой погруженной трехфазной дугой, имеют предел прочности и угол изгиба на 20—25%, а ударную вязкость на 30—35% выше, чем при ручной дуговой сварке покрытыми электродами и автоматической сварке по флюсу (табл. 28).

Испытания свариваемых разнородных алюминиевых сплавов свидетельствуют о том, что прочность соединения определяется прочностью менее прочного из соединяемых материалов, а также прочностью присадочного материала (табл. 29).

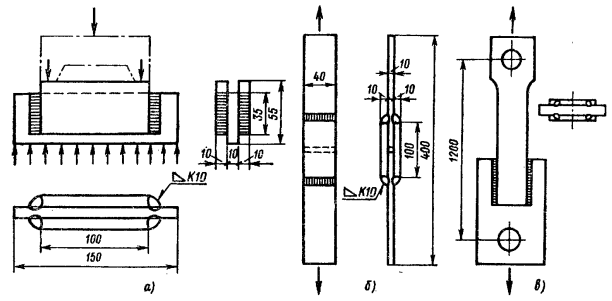


Рис. 12. Образцы для испытаний на срез фланговых (*а*, *в*) и лобовых (*б*) швов и схемы приложения нагрузки к образцам

Достаточно высокая коррозионная стойкость и пневмогерметичность достигаются применением при аргонодуговой сварке в качестве присадочного материала проволоки АК5. При сварке материалов других сочетаний можно применять присадочные проволоки АМг6, АМг3, АМц. Наилучшее сочетание прочностных и пластических свойств для сплавов АМг6 или 01915Т достигается при сварке без присадки.

26. Механические свойства угловых швов

Марка сплава	Марка проволоки	Способ сварки	Предел прочности на срез фланговых швов τ', кгс/мм²	Предел прочности на срез лобовых швов τ', кгс/мм²
АМг61	АМг61	Ручная, вольфрамовым электродом	11,9—15,5	17,8—21
		Автоматическая, плавящимся электродом	10,8—13,2	16,4—20,9
АД35-Т1	СвАК5	То же	10,2—12,3	—
В92-Т	СвВ92	»	13,7—19,8	18,4—20,8

27. Результаты испытаний на статическое растяжение сварных соединений из сплава АМг61

Ширина образца, мм	Тип сварного соединения	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	Ширина образца, мм	Тип сварного соединения	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$
		кгс/мм²				кгс/мм²	
50	Одностороннее на временной подкладке	34,5	19,3	100	Одностороннее на временной подкладке	32,5	21,2
	Одностороннее без подкладки на весу	32,0	19,1		Двустороннее	34,5	22,1
	Двустороннее	34,5	21,9	300	Двустороннее	35,1	22,8
	Основной металл	39,2	26,7	600	Двустороннее	34,0	22,8
					Основной металл	37,0	26,0

28. Механические свойства сварных соединений из сплава АМц после сварки трехфазной дугой

Сварка	δ листа, мм	Число проходов	$\sigma_в$, кгс/мм²	α°	$a_н$, кгс·м/см²
Ручная покрытыми электродами с предварительным подогревом кромок с разделкой	28	4	10—11	90—120	1,8—2,4
	40	6	10—12	90—110	1,8—2,2
Автоматическая плавящимся электродом по флюсу без разделки кромок	28	2	10,8—11,4	80—100	1,8—1,95
	40	2	10—11,5	70—90	1,7—2,0
Автоматическая однопроходная погруженной трехфазной дугой без присадочной проволоки	28	1	12—13	130—180	3,2—3,5
	40	1	12—13	110—130	3,1—3,3

29. Свойства сварных соединений некоторых (в том числе разнородных) алюминиевых сплавов

Сочетание сплавов	Марка сплава присадочной проволоки	$\sigma_в$ кгс/мм²	$\sigma_{0,2}$ кгс/мм²	δ_5, %	α°	Сочетание сплавов	Марка сплава присадочной проволоки	$\sigma_в$ кгс/мм²	$\sigma_{0,2}$ кгс/мм²	δ_5, %	α°
АЛ9+АМг6	АМг6	14,2	—	20	—	АМц+АЛ5	АМц	11,6			
	АК5	15,1					АК5	9,7	—	17	—
АМг3+АЛ9	АМг3	14,3	—	22	—	АМц+АЛ19	АМц	11,4			
	АК5	14,4					01203	11,7	—	14	—
АМц+АЛ9	АМц	11,0	—	26	—	АМг6М+	СвАМг6	30,1	16	1	72
	АК5	9,6				+АМг6					
						АМг6М	—	35,8	17	20	—

Прочность сварных соединений в значительной степени зависит от формы шва, а следовательно, от таких приемов обработки, как удаление обратного валика и подварка с обратной стороны шва. При сварке листов из сплава АМг6 толщиной 8—14 мм снятие обратного валика приводит к повышению $\sigma_в$ на 1,5—2,0 кгс/мм², а дополнительная подварка обратной стороны шва вручную вольфрамовым электродом в аргоне — дополнительно на 0,5—1,5 кгс/мм², что объясняется частичным удалением вместе с валиком и последующей переплавкой возможных концентраторов напряжений, образовавшихся при сварке.

Подварку, иногда многократную, используют для исправления

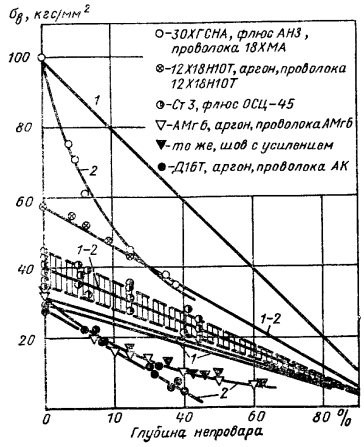


Рис. 13. Влияние глубины непровара на предел прочности стыковых соединений при статическом нагружении:

1 — снижение прочности, пропорциональное площади ослабления сечения непроваром; *2* — действительное снижение прочности соединения

дефектов сварки. При трехкратной подварке сварных швов сплава АМг6 без подогрева снижение предела прочности при статическом растяжении, дополнительные дефекты и изменение структуры не наблюдаются (табл. 30). При четырехпятикратной подварке без подогрева имеют место микродефекты (поры, трещины, окисные включения) по линии сплавления.

Пористость и шлаковые включения, являясь дискретными концентраторами в стыковых швах, влияют на прочность главным образом при переменных (вибрационных) нагрузках, а при статических — только в соединениях, чувствительных к концентрации напряжений. В стыковых соединениях, не чувствительных к концентрации напряжений, пористость, ослабляющая сечение шва на 7%, при статических нагрузках прочность не снижает.

Непровар относится к категории дефектов, существенно снижающих прочность при статических нагрузках, причем, как показывают данные, приведенные на рис. 13, для некоторых материалов, в том числе для некоторых сталей, это снижение наиболее интенсивно для малых непроваров. Однако наиболее существенно технологические дефекты влияют при действии переменных нагрузок. Прочность при переменных нагрузках зависит от пористости в швах и от смещения свариваемых кромок (табл. 31 и рис. 14).

Для повышения прочностных и пластических свойств при сварке рекомендуется применять различные технологические приемы. В частности хорошие результаты дает электромагнитное перемешивание расплава ванны при аргонодуговой сварке сплава АМг6 и других алюминиевых сплавов, применение механического вибрирования электрода и ванны, прокатка металла в процессе остывания за источником нагрева и в процессе кристаллизации [7].

Существует прямая связь между параметром $uJ/v\delta$ (uJ и v — параметры режима сварки; δ — толщина) и прочностью сварных соединений при растяжении. С увеличением v и снижением параметра $Ju/v\delta$ наблюдается почти линейное увеличение $\sigma'_в$ до прочности основного материала.

30. Механические свойства сварных соединений сплава АМг6

Толщина пластин, мм	Место разделки шва	Предел прочности (в кгс/мм²) при числе подварок 1	2	3	4	5	Угол изгиба (градусы) при числе подварок 1	2	3	4	5
2,0	Со стороны усиления	31,5—33,0 / 32,1 (10)	29,0—33,0 / 31,4 (10)	28,0—32,0 / 29,7 (10)	27,5—30,5 / 29,2 (10)	27,0—29,2 / 28,3 (10)	—	—	—	—	—
3,0	То же	31,9—33,0 / 32,4 (6)	29,3—33,1 / 31,7 (6)	30,9—34,4 / 34,1 (6)	29,5—34,4 / 32,4 (6)	31,4—35,7 / 33,5 (6)	89	83	82	71	69
4,5	Со стороны проплава	31,9—33,2 / 32,5 (6)	32,0—35,9 / 33,8 (6)	30,5—35,2 / 33,1 (6)	32,1—36,4 / 34,0 (6)	30,2—35,5 / 34,2 (6)	89	92	79	81	70
7,0	Со стороны усиления	32,7—34,2 / 33,6 (6)	32,8—33,9 / 33,2 (6)	32,8—33,9 / 34,4 (6)	29,8—34,5 / 33,0 (6)	31,8—34,1 / 33,2 (6)	62	55	55	54	56

Примечания: 1. В числителе приведены минимальные и максимальные значения предела прочности, в знаменателе — средние, в скобках — число испытанных образцов.
2. Угол изгиба — средние значения для пяти образцов.

31. Зависимость прочности сварных соединений сплава АМг6 от пористости в швах

Механические свойства соединений	Без пор	Единичные поры d, мм			Цепочка пор		
		⩽ 0,8	⩽ 1,8	0,3—0,9 с окисными пленками	$d \leqslant 0{,}5$ мм (длина цепочки 100%)	$d \leqslant 1{,}8$ мм (длина цепочки 60%)	частично слившихся $d=1{,}2 \div 1{,}8$ мм (длина цепочки 75%)	единичных, сопровождающихся несплавлениями, две слившиеся поры с окисными пленками $d=1{,}2 \div 1{,}8$ мм
$\sigma_в$ соединения с проплавом и валиком, кг/мм²	32,1—33,4	32,1—33,8	32,1—33,8	—	33,3—33,9	31,2—32,0	26,7—29,7	—
Коэффициент прочности	1	1	1	—	1	1	0,83—0,89	—
$\sigma_в$ соединения с обработанным проплавом и валиком, кг/мм²	32,4—32,6	31,1—34,2	30,0	28—30,2	32—32,5	—	27,4—30,6	22,0—25,5
Коэффициент прочности	1	1	0,94	0,86—0,92	1	—	0,85—0,94	0,7—0,8
σ_{-1} соединения с проплавом (без проплава), кг/мм²	9 (13,5)	—	—	—	—	—	—	—
Эффективный коэффициент концентрации:								
без проплава	1	1,35	—	—	1,35	—	1,6	1,6
с проплавом	—	1,42	—	—	1,42	—	1,92	1,92

Примечания: 1. Предел прочности основного металла $\sigma_в = 36$ кгс/мм².
2. Эффективные коэффициенты концентрации получены для соединения с обработанным проплавом без пор.
3. Коэффициент прочности (статической) получен как отношение прочности сварного соединения к прочности соединения без пор.

Механические свойства сварных соединений алюминиевых сплавов зависят от металлургических факторов: размеров зерна и дендритных ячеек, объема вторичных фаз и их характера, концентрации растворенного вещества в кристалли-

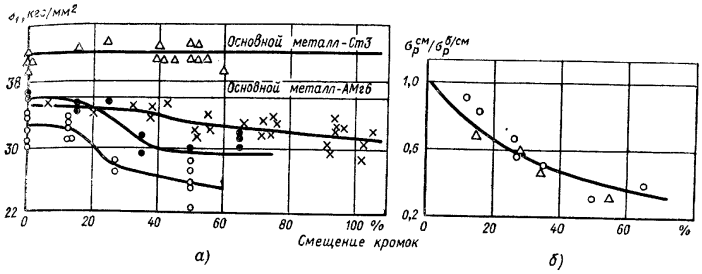


Рис. 14. Зависимость прочности стыковых сварных соединений от смещения кромок при осесимметричном растяжении:

а — статическое нагружение; *б* — вибрационное нагружение (крестики — сплав АМг6 толщиной 4 мм, ручная аргонодуговая сварка с двух сторон; светлые кружки — то же, автоматическая АРДС на подкладке; темные кружки — сплав АМГ6 толщиной 10 мм, ручная аргонодуговая сварка с двух сторон; треугольники — сталь Ст3 толщиной 10 мм, сварка ручная дуговая электродами УОНИ-13/45); $\sigma_р^{см}/\sigma_р^{б/см}$ — отношение разрушающих напряжений в образцах со смещением и без смещения

ческой решетке, примесей Fe, Si и их характера, границ зерен и их очертаний. Механические свойства (прочность, пластичность, ударная вязкость) могут быть улучшены путем измельчения зерна и в особенности дендритной структуры. Величина дендритов тесно связана с образованием вторичных структур

32. Механические свойства сварных соединений сплавов Д20 и Д20-1 при различных видах термической обработки

Материал; толщина, мм	Металл до сварки		Последовательность сварки и видов термической обработки	Сварное соединение	
	$\sigma_в$, кгс/мм²	$\alpha°$		$\sigma'_в$, кгс/мм²	$\alpha°$
Д20; 2	32,6	180	Закалка и сварка	26,0	64,2
	32,6	180	Закалка, сварка и старение	30,5	44,0
	42,0	121	Закалка, старение и сварка	29,3	54,0
			Закалка, сварка, закалка и старение	38,1	84,0
			Отжиг, сварка, закалка и старение	45,1	93,0
Д20-1; 2,5	44	110	Закалка и сварка	29,0	84
			Закалка, сварка, искусственное старение	32,1	52
			Закалка, искусственное старение, сварка, искусственное старение	32,2	50
			Закалка, 7% нагартовки, сварка, искусственное старение	32,2	50
			Закалка, 7% нагартовки и сварка	28,6	79

33. Прочность сварных соединений сплава Д16, выполненных аргонодуговой сваркой

Толщина, мм	$\sigma'_в$ сварного соединения, кгс/мм²		Коэффициент прочности $\sigma'_в/\sigma_в$, %	
	до термической обработки	после термической обработки (закалка + старение)	до термической обработки	после термической обработки
3,0	26—28	30—34	51	68
15	24—27	29—32	51	67
25	21—24	27—30	53	67
35	18—24	25—29	49	65

и концентрацией растворенного вещества в кристаллической решетке. Эти факторы значительно влияют на механические свойства. Влияние концентрации растворяемого вещества подтверждается изменением механических свойств благодаря гомогенизации [9].

Механические свойства (пластичность и ударная вязкость) значительно снижаются при увеличении числа включений Fe, Si; прочность при этом снижается мало. Вторичные фазы, содержащие Fe и Si, могут быть центрами возникновения трещин или могут содействовать распространению трещины.

Прочность и пластичность сварных соединений алюминиевых сплавов повышаются при применении термической обработки. После полной термической обработки сплава Д20 прочность сварного соединения достигает 90—95% прочности основного материала (табл. 32).

Искусственное старение, повышая на 3—5 кгс/мм² предел прочности, снижает на 25—35% угол изгиба. Длительное старение при 70—90 °С приводит к повышению предела прочности сварных соединений на 5—7 кгс/мм².

Термической обработкой (закалкой с последующим естественным старением) можно повысить прочность соединений из сплавов Д1 и Д16 (табл. 33).

Сплавы системы Al — Zn — Mg — Cu имеют невысокую прочность [17, 22] после сварки, которая может быть повышена термической обработкой до 80% прочности основного материала. Одновременное повышение прочности и пластичности достигается применением длительных гомогенизирующих отжигов. К этой группе материалов относится сплав В95 (табл. 34).

34. Свойства сварных соединений сплава В95 в зависимости от характера термической обработки

Исходное состояние материала	Вид термической обработки	Продолжительность, часы	$\sigma'_в$, кгс/мм²	δ_5, %
Отожженное	Гомогенизирующий отжиг при 460 °С	1	53—56,5	1,5—3,5
		4	50,8	2
		8	52,8	4
		16	53,2	5—5,5
		24	54,9	7—9
Закаленный и искусственно состаренный	Гомогенизирующий отжиг при 460 °С	1	54,4	3
		4	54,2	4
		8	54,2	6—7
		16	54,0	6
		24	54,5	7—8
Отожженный	Нагрев сварного соединения до 400—420 °С и проковка шва	1	49,5—54,0	7,5—8
		4	49,5—54	7,5—8

Прочность и пластичность сварных соединений магниевых сплавов. Прочность сварных соединений различных магниевых сплавов при статических нагрузках составляет 75—100% прочности основного металла. В табл. 35 приведены средние прочность и пластичность [12].

Наименее разупрочняемы термически не упрочняемые сплавы магния типа МА2-1; для других сплавов некоторое повышение прочности и пластичности может быть достигнуто применением присадок, измельчающих структуру сварного соединения (табл. 36).

35. Механические свойства стыковых соединений деформируемых магниевых сплавов 20 °С

Свариваемый металл	Толщина, мм	$\sigma'_в$, кгс/мм²	$\alpha°$	$\frac{\sigma'_{в\ св.\ соед.}}{\sigma_{в\ осн.мет.}}$, %
МА1	1—3	13,3—14,2	60	75
МА2-1	2—3	26,5—27,5	80	98
МА2-1	4—8	26,0—26,8	61	96
МА8	2—3	15,8—18,2	45	80
МА9	2—4	15,1—16,4	36	60
МА11	2—3	19,6—19,8	47	78
МА13	2—3	17,7—18,0	—	80
ВМ65-1	2	15,8—16,0	45	49

36. Свойства сварных соединений в зависимости от присадочного материала

Сплав	Присадочный материал	$\sigma'_в$, кгс/мм²	$\alpha°$
МА8	МА8	15,8—18,2	45
	МА2-1	19,1—20,4	54
	МА2	17,4—18,0	40
	МА1	14,5—17,0	38
	МА5	18,8—21,3	78
МА9	МА7	20,4—22,5	74
	МА9	15,1—16,4	37
	МА5	17,1—20,5	37
	МА2-1	17,5—21,0	65

Механические свойства магниевых сплавов, а также и сварных соединений могут быть улучшены путем введения в основной металл или в металл шва через присадку добавок редкоземельных элементов, таких как цирконий, торий, рений, лантан, ниодим и др. В табл. 37 приведены механические свойства сварных соединений сплава ВМ65-1 с добавками в присадочную проволоку Мл12 0,6—1,6% редкоземельных элементов.

37. Механические свойства сварного соединения из сплава ВМ65-1

Металл	$\sigma_в$, кгс/мм²		δ_5, %		$\alpha°$
	при T, °С				
	20	200	20	200	20
Основной	33	14	14,8	39,0	—
Сварное соединение без добавок РЗЭ	16	12	3,6	9,2	43
Сварное соединение с добавками РЗЭ	21,3	13,5	3,2	8,5	41

Высокими механическими свойствами металла шва и благоприятной структурой характеризуются сварные соединения сплавов, построенных на основе систем Mg — Al — Zn, Mg — Al — Zn — Mn, после сварки в среде инертных газов. Прочность сварных соединений таких сплавов, распространенных в промышленности США, достигает 100% прочности основного металла, а $\sigma_в$ сварного соединения 30—34,5 кгс/мм².

Подбором присадок с различными редкоземельными элементами можно повысить предел прочности сварных соединений многих магниевых сплавов. В табл. 38 приведены результаты испытаний соединений из сплава МА11. Существенное повышение $\sigma_в$ может быть достигнуто также применением термической обработки.

Низкие механические свойства деформируемых магниевых сплавов объясняются разупрочнением околошовной зоны от термического воздействия сварки. В табл. 39 и 40 приведены механические свойства сварных соединений некоторых магниевых сплавов при 20 °С и повышенных температурах.

38. Прочность сварных соединений из сплава МА11, сваренных аргонодуговой сваркой [12]

Присадочный металл	$\sigma_в$, кгс/мм²		α°	
	без термической обработки	с термической обработкой	без термической обработки	с термической обработкой
МА11	18,6	15,8	45	45
5% Nd; 0,5% Zr; остальное Mg	16,7	21,9	45	42
4% Nd; 0,5—1% La; 0,4—0,6% Zr; 0,4% Ag; остальное Mg	17,0	22,2	47	40
5% Nd; 0,5—1% La; 0,4—0,6% Zr; остальное Mg	16,8	21,8	54	50

Примечание. Режим термической обработки состоял в закалке на воздухе с температуры 490 °С, выдержке в течение 4 ч, старении при 175 °С, выдержке в течение 24 ч.

Прочность и пластичность сварных соединений титановых сплавов. У титановых сплавов прочность сварных соединений близка к прочности основного металла. Основная проблема при сварке титановых сплавов — обеспечение хорошей пластичности сварных соединений. Литая структура сварных соединений и зоны металла, нагреваемого при сварке до высоких температур, отличаются пониженными пластическими свойствами.

39. Механические свойства сварных соединений сплава МА13
(термическая обработка после сварки)

Присадочный металл	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ_5, %
	кгс/мм²		
МА13	18,0	13,5	1,5
2,7% Zn; 0,7% Zr; 3,6% РЗЭ, Mg остальное	21,0	15,2	1,5

К преждевременному разрушению при хранении и эксплуатации сварных конструкций из титановых сплавов могут приводить остаточные напряжения. После термической обработки, как правило отжига, пластичность сварных соединений восстанавливается. Непосредственно после сварки хорошей пластичностью обладают сварные соединения сплавов, содержащих α-стабилизирующие элементы в пределах их растворимости в α-титане, а также сплавы, содержащие небольшое количество β-стабилизирующих элементов (ближе к пределу растворимости в α-титане).

Не требуют стабилизирующего отжига сплавы с α-структурой (ВТ1-00, ВТ1-0, ВТ5, ВТ5-1), не изменяющие своего фазового состояния при сварке. Сплавы ОТ4-0, ОТ4-1, ОТ4, ВТ4, ОТ4-2, ВТ20, АТ2, АТ3, АТ4, АТ6 являются сплавами с небольшим количеством β-фазы; для них также не обязателен стабилизирующий отжиг после сварки. Сварное соединение титановых сплавов мартенситного типа (ВТ6-С, ВТ6, ВТ14, ВТ3-1) имеет пониженную пластичность и в связи с этим требуется стабилизирующая термическая обработка [5].

Сварные соединения сплавов ВТ16, ВТ22, ВТ15, ТС6 отличаются хорошей пластичностью, но низкой термической стабильностью, т. е. охрупчиваются при повышенных температурах при длительной эксплуатации. Для стабилизации структуры таких сварных соединений применяют отжиг или закалку со старением. Термическая обработка сварного соединения может существенно изменяться в зависимости от толщины материала в связи с изменением условий охлаждения.

Одни и те же режимы термической обработки сварных соединений приводят к различным прочности и пластичности при различных толщинах. В табл. 41 и 42 приведены механические свойства сварных соединений сплавов ВТ20, ВТ14 и ВТ22. Отжиг сплава ВТ20 проводился при 750 °С в течение 30 мин, сплава ВТ14 при 680 °С 30 мин, сплава ВТ22 при 780 °С, охлаждение на воздухе [6].

40. Механические свойства сварных соединений из магниевых сплавов при различных температурах

Сплав	Присадочный металл	$\sigma'_в$, кгс/мм² при T, °С					α° при T, °С				
		20	175	250	300	350	20	150	250	300	350
МА9	—	29	20	9,1	5,4	—	—	—	—	—	—
МА9	МА2-1	21	13,8	7,4	5,0	—	65	85	100	—	—
МА11		26,5	—	20,2	15,5	11,8	—	—	—	—	—
МА11	МА11	19,8	17,5	17,4	15,5	12,0	47	—	58	91	180
МА11	Мл9	18,6	17,6	18,4	15,6	12,1	52		78	92	125
МА11	Система Mg—Nd—La—Zr—Ag—(табл. 44)	18,3	17,8	19,2	15,9	10,7	49	51	65	148	180
МА11*1	—	22	18,4	19,6	18,8	11,7	42	58	65	94	180
МА11*1	МА11	22	18,4	19,6	18,8	11,7	42	58	65	94	180

1 После сварки производилась закалка с последующим старением.

41. Свойства сварных соединений после аргонодуговой сварки без присадки (толщиной 2 мм)

Сварное соединение	ВТ20			ВТ14			ВТ22		
	$\sigma_в$, кгс/мм²	α°	$a_н$, кгс·м/см²	$\sigma_в$, кгс/мм²	α°	$a_н$, кгс·м/см²	$\sigma_в$, кгс/мм²	α°	$a_н$, кгс·м/см²
После сварки	48	38	3,2	95	30	1,8	95	45	2,5
То же и отжига	96	42	3,0	94	40	2,8	115	35	2,2
» и нагрева до 450 °С, 100 ч	98	34	2,7	99	20	1,5	121	—	0,3
То же, отжига, нагрева до 450 °С, 100 ч	95	36	2,9	96	37	2,7	113	33	2,1

42. Механические свойства сварных соединений после многопроходной аргонодуговой сварки с присадкой сплава СПТ-2 (толщиной 16 мм)

Состояние сварного соединения	ВТ20		ВТ14		ВТ22	
	$\sigma_в$, кгс/мм²	$a_н$, кгс·м/см²	$\sigma_в$, кгс/мм²	$a_н$, кгс·м/см²	$\sigma_в$, кгс/мм²	$a_н$, кгс·м/см²
После сварки	91	3,5	89	3,8	98	1,2
То же и отжига	92	3,9	90	5,4	100	4,2
» и нагрева до 450 °С, 100 ч	94	3,4	93	3,3	102	0,4
То же, отжига, нагрева до 450 °С, 100 ч	95	3,7	91	4,8	100	4,0

Для получения высокой пластичности сварных соединений сплав ВТ22 необходимо отжигать при температуре не ниже 750 °С. При толщине 15 мм изменение ударной вязкости по переходной зоне в зависимости от температуры отжига в течение 1 ч составляет:

$a_н$, кгс·м/см²	1,0—1,2	1,2—1,8	2,7—3,0	3,5—4,2	3,8—4,7
T, °С	600	650	700	750	800

Иногда применяют упрочняющую термическую обработку, состоящую из закалки и последующего старения. Однако в этом случае может оказаться недостаточно удовлетворительное сочетание прочности и пластичности металла шва. Обычно сварные соединения рекомендуется подвергать «мягкой» упрочняющей термической обработке, повышающей предел прочности на 15—20%. Прочностные и пластические свойства определяются режимом термической обработки (табл. 43)

43. Механические свойства сварных соединений сплавов ВТ14 в зависимости от режимов упрочняющей термической обработки (толщиной 2 мм)

Механические свойства	Обработка: выдержка при 820 °С, 10 мин; закалка в воду; старение	Обработка: выдержка при 860 °С, 10 мин; закалка в воду; старение	Обработка: выдержка при 900 °С, 10 мин; закалка в воду; старение
T = 500° С:			
$\sigma_в$, кгс/мм²	115 / 114	120 / 117	125 / 120
α°:			
шва	30 / 35	25 / 30	25 / 25
основного металла	35 / 33	33 / 35	27 / 27
T = 350 °С:			
$\sigma_в$, кгс/мм²	110 / 108	115 / 114	118 / 115
α°:			
шва	39 / 40	35 / 37	39 / 30
основного металла	40 / 42	39 / 40	40 / 39
T = 600 °С:			
$\sigma_в$, кгс/мм²	100 / 58	110 / 108	115 / 110
α°:			
шва	43 / 45	39 / 40	35 / 32
основного металла	48 / 50	45 / 50	45 / 42

Примечание. В числителе приведены механические свойства при старении в течение 4 ч, а в знаменателе — в течение 16 ч.

Часто при изготовлении сварных конструкций из высокопрочных термоупрочняемых титановых сплавов предусматривают отжиг, а для компенсации снижения прочности делают утолщение кромок в зоне сварки.

В связи со стимулирующей ролью в процессах разрушения конструкций из сплавов титана остаточных напряжений применяют так называемый неполный отжиг при сравнительно низких температурах, снижающий остаточные напряжения на 70—80%:

Сплав	Температура отжига, °С
ВТ1-00, ВТ1-0	445—485
ОТ4-0, АГ2	480—520
ОТ4-1	520—560
ОТ4, АТ3	545—585
ВТ4, ВТ5, ВТ5-1, ВТ6С	550—600
ВТ6, ВТ14, ВТ22, ВТ23, ВТ16	550—650
ОТ4-2, ВТ20, ТС5	600—650

Механические свойства сварных соединений титановых сплавов приведены в табл. 44—47.

44. Механические свойства сварных соединений титановых сплавов после аргонодуговой сварки (толщиной 2 мм)

Сплав	Состояние	$\sigma_в$, кгс/мм²	α°	$a_н$, кгс·м/см²	Сплав	Состояние	$\sigma_в$, кгс/мм²	α°	$a_н$, кгс·м/см²
ВТ1-00	После сварки	34	90	—	ВТ16	Отожженное	92	45	4,0
ВТ1-0	То же	47	90	10,0	ВТ16	Термически упрочненное	115	35	1,5
ВТ5-1	»	85	60	3,5					
ОТ4-0	»	56	90	—	АТ2	После сварки	60	80	—
ОТ4-1	»	67	80	6,0	АТ3	То же	85	55	—
ОТ4	»	78	65	5,0	АТ4	»	93	45	—
ВТ4	»	88	55	4,0	ТС5	»	100	40	—
ОТ4-2	»	99	40	3,0	ВТ15	»	92	85	—
ВТ20	»	95	40	3,0	ВТ22	Отожженное	105	35	2,5
ВТ14	Отожженное	97	40	3,5	ТС6	После сварки	95	80	—
ВТ14	Термически упрочненное	112	30	2,0					

45. Механические свойства сварных соединений титановых сплавов больших толщин

Сплав	Толщина, мм	Присадка	Состояние	Электрод	$\sigma_в$, кгс/мм²	$a_н$, кгс·м/мм²: переходной зоны	$a_н$, кгс·м/мм²: сварного шва
ОТ4	20	ВТ1-0	После сварки	Плавящийся	71	7,0	5,0
				Неплавящийся	68	8,5	5,5
ВТ14	15	СПТ-2	Отожженное	Плавящийся	95	4,0	3,5
				Неплавящийся	92	4,5	4,0
ВТ20	15	ВТ20-2св	»	Плавящийся	95	4,0	3,5
				Неплавящийся	90	4,5	4,0
ВТ22	15	СПТ-2	»	Плавящийся	100	4,0	3,5
				Неплавящийся	95	4,5	3,5

Прочность и пластичность при сварке больших толщин существенно зависят от марки присадочного материала (табл. 46).

46. Механические свойства сварных соединений сплава ВТ22 толщиной 20 мм в отожженном после сварки состоянии

Автоматическая аргонодуговая сварка	Присадочный материал	$\sigma_в$, кгс/мм²	$a_н$, кгс·м/см²
Неплавящимся электродом	ВТ22	117,0	1,8
	ВТ17	110,0	3,0
	СПТ-2	100,0	6,0
Плавящимся электродом	ВТ17	115,0	3,3
	СПТ-2	105,0	4,3

47. Механические свойства соединений сплава ВТ15 после сварки и упрочняющей термической обработки

Толщина, мм	Способ сварки	$\sigma_в$, кгс/мм²	$a_н$, кгс·м/см²	α°	Толщина, мм	Способ сварки	$\sigma_в$, кгс/мм²	$a_н$, кгс·м/см²	α°
3	Автоматическая дуговая по флюсу	85 / 128	6,2 / 3,0	180 / 3,0	7,5	Аргонодуговая по флюсу	94,0 / 110	3,0 / 2,0	180 / 23
	Электроннолучевая	90,5 / 125	6,4 / 3,6	180 / 40		Электроннолучевая	92,5 / 127	6,3 / 3,2	180 / 30

Примечание. В числителе приведены механические свойства металла шва после сварки; в знаменателе — после термической обработки: 500 °С, 5 ч, в воду.

Прочность и пластичность соединений при различных методах сварки и пайки. В зависимости от схемы нагружения нахлесточные соединения, выполненные контактной точечной сваркой, работают на срез (растяжение) и отрыв. Обычно в конструкциях наблюдается совместное действие отрыва и среза и для определения прочности сварной точки целесообразно проводить испытания в условиях, близких к реальной схеме нагружения (рис. 15). При определении нормативных разрушающих усилий, приходящихся на одну сварную точку, исходят из разрушающих усилий среза сварной точки в связи с тем, что при этом виде нагружения имеется наибольшее число результатов испытаний, а само осуществление таких испытаний является предельно простым. Разрушающее усилие, приходящееся на одну сварную точку, зависит от диаметра литого ядра сварной точки. В табл. 48 приведены установленные практикой минимальные разрушающие усилия среза на сварную точку для различных металлов при номинальных размерах литого ядра для каждой толщины [22].

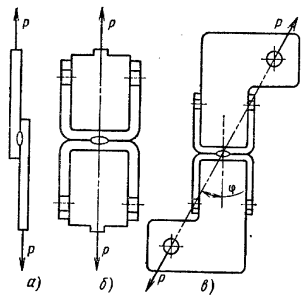


Рис. 15. Схема испытаний точечных сварных соединений:

а — срез; *б* — отрыв; *в* — совместное действие среза и отрыва

Разрушающие усилия при отрыве точечных соединений, которые могут быть повышены введением клея [7], намного меньше, чем при срезе. Изменение угла φ приложения нагрузки (рис. 15, *в*) соответствует приложению к сварной точке двух составляющих нагрузки P, которая является равнодействующей усилий среза $P_{ср} = P\cos\varphi$ и отрыва $P_{отр} = P\sin\varphi$, где $P_{ср}$ — срезывающее усилие точки при $\varphi = 90°$; $P_{отр}$ — разрушающее усилие при чистом отрыве.

Зависимость разрушающего усилия P от угла φ приложения нагрузки имеет одинаковый характер для различных материалов. Наблюдается резкое снижение прочности точки при дополнении усилий среза незначительными усилиями отрыва, в результате чего разрушающие усилия оказываются меньшими, чем разрушающие усилия при чистом срезе.

В табл. 49—52 приведены некоторые основные сведения по прочности соединений при контактной сварке.

48. Минимальные разрушающие усилия на одну сварную точку при статическом срезе, кгс

Толщина тонкой детали, мм	$\sigma_в$ основного металла, кгс/мм²									
	< 13	13—20	20—32	> 32	< 50	50—60	60—70	70—80	80—90	> 90
	Легкие сплавы				Стали, титановые сплавы					
0,3	10	15	30	35	80	100	115	130	145	160
0,5	35	45	55	70	140	175	200	230	260	280
0,8	75	95	105	135	273	345	395	455	520	590
1,0	100	130	140	160	385	485	555	635	730	825
1,2	130	170	180	220	525	655	750	855	990	1150
1,5	165	230	250	330	760	950	1100	1260	1450	1600
2,0	235	345	385	480	1100	1370	1550	1770	2000	2250
2,5	315	430	540	670	1400	1800	2000	2300	2500	2850
3,0	360	470	650	890	1700	2150	2400	2750	3100	3450

В связи с изменением пластических свойств металла при повышенных температурах у многих сварных точечных соединений увеличивается прочность при работе в условиях отрыва.

49. Минимальная разрушающая нагрузка при статическом срезе на одну точку, кгс

Толщина свариваемых материалов, мм	Материал						
	Д16Т и В95	АМг6	АМг	АМц	МА1	МА8	МА2-1
0,5 + 0,5	70	70	50	45	—	—	—
0,8 + 0,8	135	140	100	90	95	95	100
1,0 + 1,0	160	165	140	120	116	126	140
1,2 + 1,2	210	215	180	140	—	—	—
1,5 + 1,5	300	325	250	170	225	250	270
2,0 + 2,0	420	460	380	—	300	325	350
2,5 + 2,5	—	—	—	—	325	375	400
3,0 + 3,0	700	750	600	—	415	500	550
4,0 + 4,0	1200	1250	850	—	710	800	850
6,0 + 6,0	—	3000	—	—	—	—	—
8,0 + 8,0	—	3500	—	—	—	—	—

50. Минимальная разрушающая нагрузка при статическом отрыве на одну точку, кгс

Толщина, мм	Диаметр ядра точки, мм	Материал				
		ОТ4	СП2	ОТ4-1	СП3	ВТ1-2
0,8 + 0,8	4	170	160	—	200	200
1,0 + 1,0	4,5	190	270	220	350	270
1,2 + 1,2	5	250	—	—	—	330
1,5 + 1,5	6,5	340	500	370	660	—
2,0 + 2,0	7,5	520	960	560	1000	700
2,5 + 2,5	8,0	800	—	—	—	950
3,0 + 3,0	9,0	1200	—	1500	—	1380
4,0 + 4,0	12,0	1900	—	2500	—	2000

Повысить прочность соединения при точечной и шовной сварке удается введением клея, который после полимеризации вместе с точкой или сварным швом делает область соединения более монолитной, лучше сопротивляющейся изгибу (табл. 53).

В ультразвуковых неразъемных соединениях металлов разрушающая нагрузка на точку при срезе зависит от продолжительности пропускания ультразвука, что объясняется увеличением площади схватывания (табл. 54).

Аналогичные результаты наблюдаются при сварке алюминия. Прочность точек увеличивается при увеличении усилия сжатия в определенных пределах. Например, при сварке алюминия толщиной 0,3 + 0,3 мм увеличение усилия сжатия с 5 до 100 кгс повышает разрушающую нагрузку при срезе точки с 10 до 30 кгс.

При сварке взрывом предел прочности соединений при срезе сталей 12Х18Н9Т и Ст3 равен 5,4—5,7 кгс/мм², стали 12Х18Н9Т и меди — М3 — 16,8 кгс/мм²,

51. Средняя разрушающая нагрузка на точку (в кгс) при статическом отрыве в зависимости от температуры нагрева

Материал соединения	Толщина, мм	Диаметр ядра точки, мм	T, °C							
			20	50	100	150	200	250	300	350
Д16Т	0,8 + 0,8	4	60	60	55	63	54	73	55	45
	1,0 + 1,0	5	80	78	86	83	92	85	95	97
	2 + 2	7,5	263	256	252	278	260	265	263	223
В95Т	1,8 + 1,8	8	197	200	200	220	223	300	253	187
	2 + 2	8,5	230	247	265	280	298	342	250	210
	3 + 3	10	400	410	417	470	497	587	542	364
	4 + 4	12	617	670	703	717	832	960	833	660
АМг6	2 + 2	7,5	310	340	322	325	340	301	207	222
	3 + 3	9	570	536	560	550	653	580	470	360
	4 + 4	12	910	837	837	908	1026	1092	778	600
	4,5 + 4,5	12,5	943	880	927	1030	992	980	770	540
ОТ4-1	1 + 1	4	290	—	337	—	330	—	420	—
	2 + 2	7,5	520	—	500	—	530	—	500	—
ОТ4	0,8 + 0,8	3,7	217	—	—	—	—	—	—	200
ВТ1-2	0,8 + 0,8	4	250	—	—	—	—	—	—	213

2. Средняя разрушающая нагрузка (в кгс) сварных одноточечных соединений из сплавов ОТ4 при 20° С и повышенной температуре

Толщина, мм	Диаметр точки, мм	T, °C	
		20	320
0,8 + 0,8	4,0	216,5	200
0,8 + 1,0	4,0	233	207,5
0,8 + 1,5	4,0	290	265
0,8 + 2,0	4,0	250	260
1,0 + 1,0	5,0	300	345
1,0 + 1,5	5,0	347	385
1,0 + 2,5	5,0	383	400
1,0 + 4,0	5,0	417	425
1,2 + 1,2	5,5	263	220
1,2 + 1,5	5,5	290	310
1,2 + 2,5	5,5	370	350
1,2 + 4,0	5,5	427	400
2,0 + 2,0	7,0	740	775
2,0 + 3,0	7,0	810	1083
2,5 + 2,5	8,0	1023	1190
2,5 + 3,0	8,0	1057	1285
3,0 + 3,0	9,0	1536	1925
3,0 + 4,0	9,0	1673	1835
3,0 + 4,0	0,0	2343	2625

53. Прочность клеесварных соединений при срезе [7]

Марка клея	Толщина свариваемых деталей, мм	Диаметр ядра сварной точки, мм	Размер нахлестки, мм	Разрушающая нагрузка, кгс
ФЛ-4С	0,6 + 0,6	3,5	20×20	460
	1,2 + 1,2	5,5	25×25	570
	2,0 + 2,0	7,0	25×25	920
МПФ-1	0,6 + 0,6	3,5	20×20	405
	1,2 + 1,2	5,5	25×25	545
	2,0 + 2,0	7,0	25×25	710
ВИЗ2-ЭМ	0,6 + 0,6	3,5	20×20	585
	1,2 + 1,2	5,5	25×25	645
	2,0 + 2,0	7,0	25×25	980
ВК1	0,6 + 0,6	3,5	20×20	620
	1,2 + 1,2	5,5	25×25	720
	2,0 + 2,0	7,0	25×25	1015
Л4	0,6 + 0,6	3,5	20×20	310
	1,2 + 1,2	5,5	25×25	415
	2,0 + 2,0	7,0	25×25	720

стали 12Х18Н9Т и алюминия АДН — 7,2 кгс/мм². При сварке технически чистых марок алюминия прочность сварного соединения на 30—35% выше прочности основного металла из-за пластической деформации. Для повышения пластичности рекомендуется термическая обработка при 200—220° С в течение 2 ч.

При диффузионной сварке прочность соединений зависит от температуры, давления и времени выдержки (табл. 55 и 56).

54. Прочность точечных соединений меди толщиной 0,35×0,35 мм в зависимости от продолжительности пропускания ультразвука

Продолжительность, с	Разрушающая нагрузка при срезе, кг	Предел прочности соединения при срезе, кгс/мм²
0,6	12	14,3
0,7	21	14,0
0,8	28	15,8
1,0	36	16,0
1,2	41	15,1
1,4	43	14,9
1,6	45	15,3

55. Зависимость прочности $\sigma_в$ (в кгс/мм²) сварного соединения из стали 50 от температуры и давления в процессе сварки (время сварки 5 мин)

Температура, °С	Давление, кгс/мм²			
	0,5	1	2	5
800	19	28	41	55
900	20	37	52	61
1000	43	54	66	70
1200	53	57	62	66

56. Зависимость прочности $\sigma_в$ (в кгс/мм²) соединения от продолжительности сварки

Время, мин	Сплав ВТ1	Сталь 45	Ковар Н29К18	Медь М1
2	61	50	—	—
5	82	65	—	16
10	82	65	20	17
20	82,5	65	23	21
35	—	—	27	22

При сварке трением одноименных и разноименных материалов может быть получена высокая прочность в сочетании с вполне удовлетворительными пластическими свойствами [3] (табл. 57—59).

57. Механические свойства стальных соединений

Свариваемые материалы	$\sigma_в$, кгс/мм²	α°	Свариваемые материалы	$\sigma_в$, кгс/мм²	α°
Сталь 20 + сталь 20	44	180	Р18 + ДХС	62	—
Сталь 45 + сталь 45	67	100	4Х9С2 + 40ХН	—	35—73
15Г + 15Г	42	180	4Х9С2 + 4Х9С2	86	—
15Г + сталь 45	46	—	ШХ15 + сталь 20	44	140
15Г + 15Г	66	110—180	12Х18Н9Т + 12Х18Н9Т	60	180
15Г + сталь 20	41	180	12Х18Н9Т + сталь 20	44	180
40Х + 40Х	89	60	Х17Н2 + Х17Н13М2Т	61	53
40Х + сталь 20	42	180	12Х18Н9Т + ЭИ878	59	180
30ХГСА + 30ХГСА	101	100	АД1 + АД1	9	180
38Х2МЮА + 38Х2МЮА	110	50	АД1 + сталь 20	9	180
20Х13 + 20Х13	51	—	АД1 + 12Х18Н9Т	9	180
Р18 + сталь 45	60	—	АД1 + АМц	9	180
Р18 + 40Х	61	—	АМц + Д1Т	17	180

При электронно-лучевой сварке высокие прочностные и пластические свойства достигаются при использовании вакуума, возникновении дегазации и рафинирования металла. Ударная вязкость шва на стали 16ГНМА толщиной 115 мм после сварки не ниже, чем у основного термически обработанного металла, а после нормализации и отпуска — в 1,5 раза больше, чем у основного металла (табл. 60) [9]. Ударная вязкость околошовной зоны такая же, как у основного металла.

При пайке прочность соединений зависит от свойств основного и присадочного металла, флюсов, технологии процесса пайки.

58. Характеристики сечений соединения из сталей Р18 + 45, полученной стыковой электросваркой (числитель) и сваркой трением (знаменатель)

Диаметр образца, мм	$\sigma_в$	$\sigma_т$	$\sigma_и$	$\tau_{кр}$	Угол закручивания, градусы
	кгс/мм²				
10	60 / 60	37 / 38	— / —	45 / 58	250—500 / 325—500
15	53 / 54	31 / 30	— / —	— / —	— / —
12	49 / 52	38 / 38	120 / —	60 / 60	400 / 400
18	46 / 45	20 / 29	100 / 85	— / —	— / —

59. Свойства металла зоны термического влияния соединений из аустенитных сталей с перлитными, выполненных сваркой трением

Марка сваренных сталей и сплавов	Температура испытаний, °С	$\sigma_в$	$\sigma_{0.2}$	ψ, %	$a_н$, кгс·м/см²
		кгс/мм²			
АНВ-300 + 20Х3МВФ	20 450	85 78	1 75	1 18,7	2,8 3,7
ЭИ572 + 40Х	20 400	64 54	36 27	18 20	5 4,25
ЭИ572 + ОХМ	20 400	66 55	39 27	58 50	5,3 4,8
ЭИ696МЛ + 40Г	20 400	62 48	45 42	21,5 15	4,1 4
ЭИ787Л + 40Г	20 400	74 64	51 50	15 17	5,1 4,2
ЭИ787Л + 40Х	20 400	73 64	50 45,2	17,5 13	3,8 3,9
ЭИ893Л + 40Г	20 400	64,3 49,9	46,5 48,3	5,7 7,5	6,2 8,0
ЭИ893Л + 40ХС	20 400	51,8 51,3	32,1 22,7	39,5 32,1	5,4 5,2

Прочность паяных стыковых швов зависит от зазора и в некоторой степени от площади спая. Когда прочность основного металла превышает прочность припоя, наилучшие результаты достигаются при минимальном зазоре, однако при полном заполнении шва припоем. Уменьшение зазора, приводящее к смыканию контактируемых плоскостей, препятствует растеканию припоя, в результате чего понижается прочность соединения. Например, прочность соединений из армкожелеза, паянных медью, следующим образом зависит от зазора (основной материал толщиной 5 мм, $\sigma_в$ = 34 кгс/мм²):

Зазор, мм	0,05	0,15	0,3	0,4	0,5	0,7	1,0	1,5	2,0
$\sigma_в$, кгс/мм²	34	34	34	33	32,5	32	31	28	25

В табл. 61—63 приведены данные по механическим свойствам паяных соединений.

60. Механические свойства сварных соединений стали 16ГНМА

Состояние материала	$\sigma_в$	$\sigma_т$	δ_5, %
	кгс/мм²		
Основной металл (нормализация и отпуск)	57	42	24
Шов:			
после сварки	65	53	19
после отпуска	63	52	16
после нормализации и отпуска	60	45	27

61. Предел прочности на срез (в кгс/мм²) паяных соединений при повышенных температурах

Марка припоя	Основной металл	T, °С			
		200	300	400	600
ПСр 45	12Х18Н9Т	—	16—24	14,5—15	3—4
ПСр 37,5	12Х18Н9Т	—	31—35	—	11—18

62. Предел прочности на срез (в кгс/мм²) соединений, паянных серебряными припоями

Основной металл	ПСр 40	ПСр 45
12Х18Н9Т	24—29	18—26
40ХНМА	33—46	—
30ХГСА	35—46	35—41
Медь	25	25

63. Предел прочности на срез (в кгс/мм²) соединений, паянных оловянно-свинцовым припоем ПОС 40

Основной металл	T, °С					
	—196	—183	—96	—60	+20	+85
Медь М3	3,5	3,3	3,4	3,5	2,7	1,6
Латунь	2,9	2,9	3,1	2,7	2,2	2,2
Сталь 12Х18Н9Т	3,0	3,4	3,0	5,0	3,2	2,0

Для пайки титановых сплавов применяется диффузионная пайка, иногда с применением гальванопокрытий. Максимальная прочность может быть получена при толщине гальванопокрытий 6—9 мкм (табл. 64).

64. Предел прочности паяных соединений при испытании на срез в зависимости от времени выдержки для различных покрытий

Температура пайки, °С	Время выдержки, мин	Прочность паяного шва из сплава ОТ4 для различных покрытий, кгс/мм²			Температура пайки, °С	Время выдержки, мин	Прочность паяного шва из сплава ОТ4 для различных покрытий, кгс/мм²		
		Cu	Cu—Ni—Cu	Cu—(Co—Ni)—Cu			Cu	Cu—Ni—Cu	Cu—(Co—Ni)—Cu
890	30	8,5—9,6	9,2—10,3	9,8—11,2	950	45	18—21	29—33	42—51
900	30	7,9—9,7	9,5—13,1	9,8—14,8	950	60	19—22	27—29	37—40
910	30	8,7—10,2	9,7—14,4	10,3—15,7	960	15	26—28	38—42	67—75
910	60	9,3—16	11,2—17,5	12,7—18,9	960	30	25—26	30—31	40—53
920	30	10,4—17,3	12,6—18,7	14,2—19,1	960	45	22—23	28—29	36—38
920	60	11—17,7	14—19,2	14,7—19,8	960	60	20—21	25—27	30—32
930	30	12—18	15—20	15—20	970	15	26—29	40—43	65—69
930	60	12—18	16—21	17—22	970	30	20—23	28—29	31—32
940	30	18—19	23—28	37—40	980	15	20—21	25—28	26—30
940	60	18—21	27—32	37—41	990	15	19—20	25—27	25—29
950	15	15—20	24—29	48—53	1000	15	15—16	20—21	20—21
950	30	16—20	28—32	55—63					

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Алюминиевые** сплавы. Коррозионно-стойкие сплавы. Под ред. И. Н. Фридляндера. М., Металлургия 1975. Вып. 7, 206 с.
2. **Алюминиевые** сплавы. Свариваемые сплавы. Под ред. И. Н. Фридляндера. М., Металлургия, 1969. Вып. 6, 180 с.
3. **Бельчук Г. А., Шаханова Л. Б.** О влиянии сварочных пластических деформаций на механические свойства металла околошовной зоны сварных соединений из судостроительных сталей. Труды Ленинградского кораблестроительного института. 1974. Вып. 92, с. 93—98.
4. **Вилль В. И.** Сварка металлов трением. Л., Машиностроение, 1970. 176 с.
5. **Влияние** редкоземельных металлов на свойства сварного шва термоупрочненной хладостойкой стали/В. И. Печенников и др. Сварочное производство, 1975, № 8, с. 8—9.
6. **Газоэлектрическая** сварка алюминиевых сплавов/С. Н. Киселев и др. М., Машиностроение, 1972. 176 с.
7. **Глазунов С. Г., Моисеев В. Н.** Конструкционные титановые сплавы. М., Металлургия, 1974. 368 с.
8. **К вопросу** о влиянии подварок на свойства сварных соединений сплава АМг6/ В. Н. Крюковский и др. — Сварочное производство, 1973, № 3, с. 39—41.
9. **Лашко Н. Ф., Лашко-Авакян С. В.** Свариваемые легкие сплавы. Л., Судпромгиз, 1960. 440 с.
10. **Макаров И. И.** Влияние пористости на прочность сварных стыковых соединений.— Сварочное производство 1972, № 6, с. 27—29.
11. **Макаров И. И.** Критерии оценки технологических дефектов в сварных конструкциях. — Сварочное производство, 1975, № 12, с. 9—11.
12. **Макаров В. И., Скачков Ю. Н.** Сварка магниевых сплавов. М., Машиностроение, 1972. 120 с.
13. **Николаев Г. А., Ольшанский Н. А.** Специальные методы сварки, М., Машиностроение, 1975. 232 с.
14. **Повышение** механических свойств сварных соединений листов сплава АМц/ В. И. Столбов и др. — Автоматическая сварка, 1974, № 9, с. 60—63.
15. **Прочность** и пластичность сварных соединений высокопрочной стали /В. Ф. Лукьянов и др. — Сварочное производство, 1972, № 4, с. 33—35.
16. **Прочность** сварных соединений элементов строительных конструкций. Под ред. А. Я. Бродского (Труды ЦНИИ строительных конструкций им. Кучеренко. Вып. 40). М., 1975. 143 с.
17. **Сварка** высокопрочных титановых сплавов/С. М. Гуревич и др. М., Машиностроение. 1975. 150 с.
18. **Сравнительная** оценка механических свойств и структуры соединений хромомолибденовой стали, выполненных различными способами сварки/Н. А. Ольшанский и др. — Автоматическая сварка, 1976, № 1, с. 42—45.
19. **Стебловский Б. А., Лобанов Л. М.** Влияние формы шва на прочность сварных соединений сплава АМг6. — Автоматическая сварка, 1974, № 7, с. 10—12.
20. **Строительные** нормы и правила. СНИП II-В. 3—72 М., Стройиздат, 1974. 70 с.
21. **Технология** и оборудование контактной сварки. Под ред. Б. Д. Орлова, М., Машиностроение, 1975. 536 с.
22. **Технология** электрической сварки металлов и сплавов плавлением/Под ред. Б. Е. Патона. М., Машиностроение, 1974. 768 с.
23. **Справочник** термиста/Под. ред. С. А. Филинова, И. В. Фиргера. Л. Машиностроение, 1975. 256 с.

Глава 4

ПРОЧНОСТЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ПЕРЕМЕННЫХ НАГРУЗКАХ

ПРОЧНОСТЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ МАЛОЦИКЛОВОМ НАГРУЖЕНИИ

Сопротивление элементов сварных конструкций циклическому нагружению определяется рядом конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов [17]. К числу этих факторов следует отнести неоднородность механических свойств в зоне сварного шва, высокие остаточные напряжения и деформации после сварки, концентрацию напряжений и деформаций у швов, дефектность швов и околошовных зон, объемность напряженного состояния, существенное изменение геометрии поверхности. Проявление указанных факторов при циклическом нагружении зависит от конструктивных форм свариваемых элементов, технологии сварки (метода, последовательности и режимов сварки, применяемых электродов, местной и общей термической обработки), режимов нагружения (уровней номинальных и местных напряжений и деформаций, температуры, частоты, асимметрии цикла, среды), размеров, формы и мест залегания дефектов (непроваров, горячих и холодных трещин, пор, шлаковых включений), состояния поверхности швов и околошовных зон. В связи с уровнем возникающих при нагружении деформаций и напряжений различают малоцикловую и многоцикловую усталость. Сопротивление малоцикловому нагружению рассматривают в тех случаях, когда под действием эксплуатационных нагрузок в элементах конструкций возникают номинальные или местные повторные упругопластические деформации; при этом разрушение происходит при ограниченном числе циклов нагружения (от 10^0 до $10^4 \div 10^5$). При повторных номинальных напряжениях, вызывающих разрушение за 10^5 циклов и более, используют понятия и закономерности многоцикловой усталости. В первом случае обычно в качестве основных расчетных характеристик используют деформации (их пластические и упругие составляющие), во втором — напряжения. Вместе с тем деформационные критерии (в силу их общности и полноты) оказываются применимыми как для мало-, так и для многоциклового нагружения.

Характеристики сопротивления деформациям и разрушению при малоцикловом нагружении определяются [13] при двух основных режимах нагружения: при заданных амплитудах напряжений (мягкое нагружение) или при заданных амплитудах деформаций (жесткое нагружение).

СОПРОТИВЛЕНИЕ ЦИКЛИЧЕСКОМУ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОМУ ДЕФОРМИРОВАНИЮ

Сопротивление упругопластическим деформациям при малоцикловом нагружении металла различных зон сварного соединения (основной металл, зона термического влияния, зона сплавления, металл шва) в значительной степени зависит от механических свойств при однократном статическом нагружении [13]. Закономерности процессов упругопластического деформирования рассмотрены на примере сварных соединений низкоуглеродистой стали типа 22К.

Сварку пластин, из которых изготовляли образцы для испытаний, выполняли вручную с последующей термической обработкой (нормализация при 920° С и отпуск при 620° С) и электрошлаковым способом без последующей термической обработки. Образцы располагали рабочей длиной перпендикулярно к сварному

шву. Механические свойства основного металла и металла сварных соединений приведены в табл. 1.

1. Механические свойства основного металла и металла сварных соединений

№ по пор.	Металл	$\sigma_т$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	$S_к$	ψ, %
		кгс/мм²				
I	Основной	23,6	28,6	50,5	103	64,8
II	Шва, ручная сварка	42,6	42,6	53,2	127	74,5
III	Шва, электрошлаковая сварка	29,0	34,5	60,4	85	35,8
IV	Зоны термического влияния, ручная сварка	28,8	28,8	50,4	109	67,5
V	Зоны термического влияния, электрошлаковая сварка	28,0	34,3	61,0	117	53,5

Примечание. $\sigma_т$ — предел пропорциональности.

Начальные участки диаграмм статического растяжения основного металла и металла сварных соединений приведены на рис. 1. Наибольшим сопротивлением возникновению пластических деформаций обладает металл шва (*II*, *III*) и металл зоны термического влияния после электрошлаковой сварки (*V*). Наиболее высокий

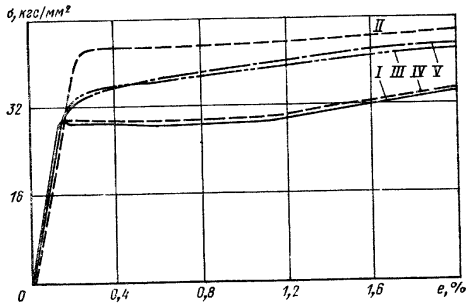


Рис. 1. Кривые статического деформирования металла сварных соединений (обозначения см. в табл. 1)

предел прочности получен у металла сварного электрошлакового соединения (*III*, *V*). Наиболее высокая пластичность ψ у металла ручного шва после термообработки (*II*), а наименьшая у металла шва после электрошлаковой сварки.

Схемы кривых циклического деформирования при мягком (постоянная амплитуда напряжений σ_a = const) и жестком нагружении (постоянная амплитуда деформаций e_{ta} = const) и основные обозначения приведены на рис. 2*.

Ширина петли $\bar{\delta}^k$ при мягком нагружении у основного металла (*I*) и металла шва электрошлакового сварного соединения (*II*, *V*) оставалась постоянной (цик-

* Напряжения и деформации на рис. 2 отнесены соответственно к пределу пропорциональности $\sigma_т$ и деформации предела пропорциональности $e_т$ при статическом растяжении.

лическая стабильность), а у металла шва сварного соединения, выполненного ручной сваркой (*II*, *IV*), увеличивалась (циклическое разупрочнение). Для исследовавшихся циклически анизотропного основного металла (*I*) и металла сварных соединений (*II*—*V*) ширина петли в полуциклах растяжения (четные полуциклы) отличается от ширины петли в полуциклах сжатия (нечетные полуциклы). Разность $\bar{\Delta}^{(k)}$ между шириной петли в полуциклах растяжения и сжатия определяет скорость накопления односторонних пластических деформаций $\bar{e}_p^{(k)}$. Максимальные напряжения цикла $\bar{S}_{max}^{(k)}$ в координатах $\bar{S}$ — $\bar{\varepsilon}$, так же как и амплитуда напряжений при мягком нагружении, не изменяются ($\bar{S}_{max}^{(k)} = 2\bar{\sigma}_a$).

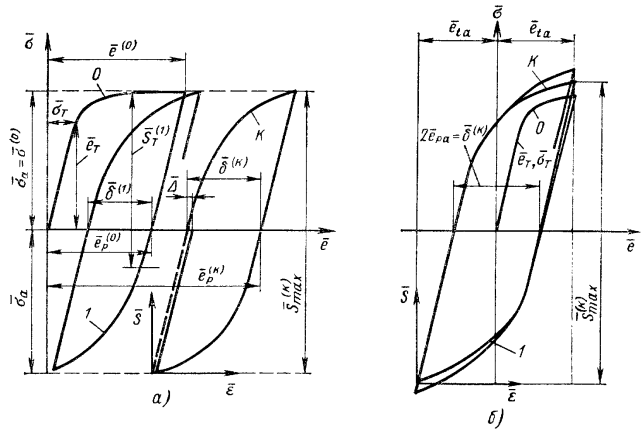


Рис. 2. Форма кривых циклического деформирования при мягком (*а*) и жестком (*б*) нагружении

При жестком нагружении (e_{ta} = const) ширина петли $\bar{\delta}^{(k)}$ для циклически стабильного металла (*I*, *III*, *V*) не изменяется, у циклически разупрочняющегося металла (*II*, *III*) увеличение ширины петли по числу полуциклов сравнительно невелико и не превышало 10%.

Максимальные напряжения цикла $\bar{S}_{max}^{(k)}$ у циклически стабильного металла (*I*, *III*, *V*) не изменяются, а у циклически разупрочняющегося уменьшаются (на 10—15% к моменту образования макротрещины).

Зависимость ширины петли $\bar{\delta}^{(k)}$ от числа полуциклов k при заданной деформации $\bar{e}^{(0)}$ нулевого полуцикла для основного металла (*I*), металла швов (*II*, *III*) и зон термического влияния (*IV*, *V*) показана на рис. 3. Зависимость между величинами $\bar{\delta}^{(k)}$ и k можно записать в виде

$$\bar{\delta}^{(k)} = \bar{\delta}^{(1)} F(k), \qquad (1)$$

где $\bar{\delta}^{(1)}$ — ширина петли в первом полуцикле; $F(k)$ — функция числа полуциклов.

Для циклически разупрочняющихся и циклически упрочняющихся металлов по экспериментальным данным соответственно

$$F(k)=\exp[\beta(k-1)]; \quad (2)$$

$$F(k)=k^{-\alpha}, \quad (3)$$

где β и α — постоянные материала, зависящие от деформации и напряжения нулевого полуцикла.

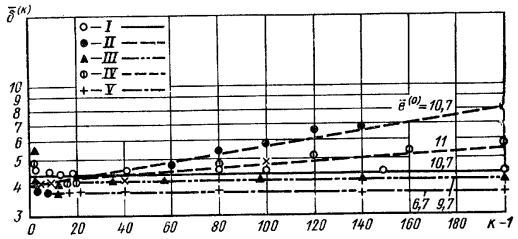


Рис. 3. Связь между шириной петли и числом полуциклов при мягком нагружении (обозначения см. в табл. 1)

Для циклически стабильного материала (*I*, *III*, *VI*) $\beta = 0$, для циклически разупрочняющегося (*II*, *IV*) $\beta > 0$; для циклически упрочняющихся металлов

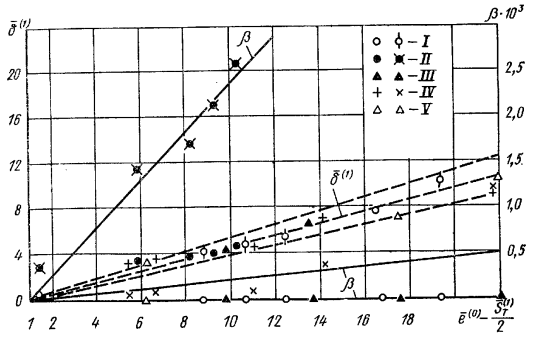


Рис. 4. Связь ширины петли в первом полуцикле и параметра циклического разупрочнения с деформацией в нулевом полуцикле (обозначения см. в табл. 1)

$\alpha > 0$. Ширина петли $\bar{\delta}^{(1)}$ в первом полуцикле и параметр β (для циклически разупрочняющегося материала) линейно связаны с деформацией $\bar{e}^{(0)}$ нулевого полуцикла

(рис. 4):

$$\bar{\delta}^{(1)}=A\left(\bar{e}^{(0)}-\frac{\bar{S}_T^{(1)}}{2}\right); \quad (4)$$

$$\beta=C\left(\bar{e}^{(0)}-\frac{\bar{S}_T^{(1)}}{2}\right); \quad (5)$$

$$\alpha=B\left(\bar{\sigma}^{(0)}-\frac{\bar{S}_T^{(1)}}{2}\right), \quad (6)$$

где A, B и C — постоянные материала; $\bar{S}_T^{(1)}$ — предел пропорциональности в первом полуцикле (см. рис. 2).

При малоцикловом мягком нагружении как основного металла, так и металла сварных соединений ширина петли в полуциклах растяжения была больше, чем в полуциклах сжатия, т. е. $\bar{\Delta}^{(k)} > 0$. Величина $\bar{\Delta}^{(k)}$ в соответствии с (1), (2) и (4) может быть записана как функция числа k полуциклов в виде

$$\bar{\Delta}^{(k)}=(A-A^*)\left(e^{(0)}-\frac{\bar{S}_T^{(1)}}{2}\right)\exp[\beta(k-1)], \quad (7)$$

где $A - A^*$ — постоянная материала, характеризующая его циклическую анизотропию.

Параметры диаграмм циклического деформирования A, $A - A^*$, C и $\bar{S}_T^{(1)}$ приведены в табл. 2.

2. Параметры диаграмм циклического деформирования

№	Металл	A	$A-A^*$, $\times10^3$	C	$\bar{S}_T^{(1)}$
I	Основной	0,54	10,4	0	1,73
II	Шва, ручная сварка	0,51	17,3	$2{,}5\cdot10^{-4}$	1,61
III	Шва, электрошлаковая сварка	0,50	1,0	0	1,64
IV	Зоны термического влияния, ручная сварка	0,49	6,3	$0{,}24\cdot10^{-4}$	1,56
V	Зоны термического влияния, электрошлаковая сварка	0,50	0,25	0	1,67

Величина односторонне накопленной за k полуциклов пластической деформации $\bar{e}_p^{(k)}$ для циклически стабильных состояний металла (*I*, *III*, *V*) при $\beta = 0$ получается из (6) суммированием по k

$$\bar{e}_p^{(k)}=\bar{e}^{(0)}-\bar{\sigma}^{(0)}+(A-A^*)\left(\bar{e}^{(0)}-\frac{\bar{S}_T^{(1)}}{2}\right)(k-1); \quad (8)$$

для циклически разупрочняющихся состояний (*II*, *IV*) при $\beta > 0$

$$\bar{e}_p^{(k)}=\bar{e}^{(0)}-\bar{\sigma}^{(0)}+(A-A^*)\left(\bar{e}^{(0)}-\frac{\bar{S}_T^{(1)}}{2}\right)[\exp\beta(k-1)-1]. \quad (9)$$

Кривые одностороннего накопления пластических деформаций по числу полуциклов для исследовавшихся состояний металла по уравнению (9) и соответствующие экспериментальные данные показаны на рис. 5. Наиболее интенсивное накопление пластических деформаций происходит в циклически разупрочняющемся металле шва ручной сварки (*II*), наиболее медленно в металле шва электрошлакового сварного соединения (*III*, *V*).

Для сварных соединений из ряда конструкционных сталей характеристики статического и циклического деформирования приведены в табл. 3 [9].

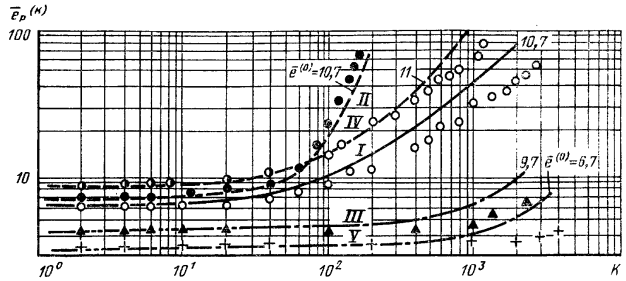


Рис. 5. Зависимость односторонне накопленной пластической деформации от числа полуциклов нагружения (обозначения см. в табл. 1)

3. Параметры диаграмм статического и циклического деформирования

Марка стали	Марка электрода	Материал сварного соединения	$\sigma_т$ кгс/мм²	$\sigma_в$ кгс/мм²	ψ, %	A	A^*	$C \cdot 10^3$	$\bar{S}_т^{(1)}$
ВСт3сп	УОНИ-13/45	Основной металл	26,8	45,6	52,0	0,945	0,945	0,000	1,32
		Металл шва	40,2	57,5	19,0	1,670	1,648	0,720	1,40
		Переходная зона	31,2	52,4	17,6	1,667	1,665	0,211	1,57
		Сварное соединение	30,9	45,6	52,0	1,267	1,261	0,275	1,45
09Г2С	УОНИ-13/45	Основной металл	34,5	50,5	69,6	0,666	0,662	0,000	1,62
		Сварное соединение	40,0	50,5	69,6	0,834	0,826	0,210	1,54
10ХСНД	УОНИ-13/55	Основной металл	41,1	58,6	58,6	1,667	1,667	0,000	1,52
		Металл шва	47,7	63,8	52,1	0,890	0,861	0,180	1,90
		Переходная зона	44,6	69,4	9,3	0,622	0,605	0,036	1,68
		Сварное соединение	45,8	58,6	58,6	1,110	1,103	0,070	1,76
16Г2АФ	УОНИ-13/65	Основной металл	43,7	65,5	65,2	1,000	0,981	0,162	1,40
		Металл шва	56,2	75,0	38,8	0,960	0,923	0,850	1,62
		Сварное соединение	45,2	65,5	65,2	0,800	0,739	0,310	1,52

Для других сварных соединений указанные выше характеристики определяются экспериментально на лабораторных образцах (при статическом и малоцикловом нагружении). В качестве первого приближения для расчетной оценки параметров диаграмм циклического деформирования можно использовать следующие уравнения [8]:

$$A = 0{,}16\left(1 + \frac{1}{1 - \sigma_{0.2}/\sigma_в}\right); \tag{10}$$

$$A - A^* = 2 \cdot 10^{-2}\left(\frac{1}{1 - 0{,}7A} - 1{,}3\right); \tag{11}$$

$$C = 1{,}5 \cdot 10^{-3}\left(\frac{1}{1 - \sigma_{0.2}/\sigma_в} - 2\right); \tag{12}$$

$$B = -0{,}3 \cdot 10^3 C. \tag{13}$$

Как следует из (10) — (13), параметры диаграмм циклического деформирования определяются в основном отношением $\sigma_{0.2}/\sigma_в$ предела текучести к пределу прочности. Материалы, имеющие $\sigma_{0.2}/\sigma_в < 0{,}5$, склонны к циклическому упрочнению; при величинах $\sigma_{0.2}/\sigma_в > 0{,}5$ материалы склонны к циклическому разупрочнению.

Опыты на основном металле и металле сварных соединений при повышенных температурах, когда деформациями ползучести можно пренебречь, показывают применимость уравнений (10)—(13) для определения параметров диаграмм циклического нагружения.

СОПРОТИВЛЕНИЕ МАЛОЦИКЛОВОМУ РАЗРУШЕНИЮ

Сопротивление сварных соединений малоцикловому разрушению зависит от механических свойств основного металла, металла шва и переходных зон и от режима нагружения. В качестве критериев малоциклового разрушения металла сварных соединений используют амплитуды упругопластических деформаций e_{ta} [4, 17] при нагружении с заданными размахами деформаций (жесткое нагружение) и амплитуды напряжений σ_a [10] при нагружении с заданными размахами усилий (мягкое нагружение). Зависимость между разрушающими амплитудами деформаций e_{ta} и числом циклов N_c до образования трещины для сварных соединений по данным работы [13] выражается степенным уравнением Мэнсона [21]

$$2e_{ta} = C_{ec}N_c^{-m_{ec}} + C_{pc}N_c^{-m_{pc}}, \tag{14}$$

где C_{ec}, C_{pc} — постоянные материала, зависящие соответственно от пластичности и прочности металла сварного соединения; m_{ec}, m_{pc} — постоянные материала, условий нагружения и дефектности швов.

Уравнение (14) описывает условия возникновения макротрещины в сварном соединении при жестком нагружении в предположении равномерного распределения упругопластических деформаций по длине нагружаемого элемента в зоне сварного шва. Кроме того, упругие и пластические составляющие деформаций в зоне шва предполагаются не изменяющимися по числу циклов (циклическая стабильность).

Результаты испытаний сварных соединений при мягком нагружении для чисел циклов более 10^3 аппроксимируются степенной функцией вида

$$2\sigma_a = C_\sigma N_f^{-m_\sigma}, \tag{15}$$

где C_σ — постоянная металла зоны сварного соединения с минимальным значением предела прочности; m_σ — постоянная, зависящая от условий испытания; N_f — число циклов до разрушения. Постоянные C_σ и m_σ зависят также от дефектности сварного соединения.

Сопротивление разрушению при жестком нагружении — по моменту образования макротрещины (длиной по окружности рабочей части образца 0,5—1 мм и глубиной 0,2—0,3 мм) при заданных амплитудах упругопластических деформаций $\bar{e}_{ta}$ описывается уравнением (14). В соответствии с рис. 2 амплитуда упругопластической деформации $\bar{e}_{ta}$ равна сумме амплитуд пластической $\bar{e}_{pa}$ и упругой деформации $\bar{e}_{ea}$:

$$\bar{e}_{ta} = \bar{e}_{pa} + \bar{e}_{ea} = \bar{e}_{pa} + \frac{\bar{S}_{\max}^{(k)}}{2E}. \tag{16}$$

Зависимость амплитуд пластических и упругих деформаций от числа циклов N_c до образования трещины показана на рис. 6.

С учетом (14) зависимость между e_{ea}, e_{pa} и N_c может быть дана в виде степенных функций типа Мэнсона—Лангера

$$2e_{pa}N_c^{m_{pc}} = C_{pc}; \tag{17}$$

$$2e_{ea}N_c^{m_{ec}} = C_{ec}, \tag{18}$$

где m_{pc}, m_{ec}, C_{pc}, C_{ec} — постоянные.

Как показали результаты экспериментов, при жестком нагружении постоянная m_{pc} изменяется в пределах 0,45—0,55 и может быть принята равной 0,5, а

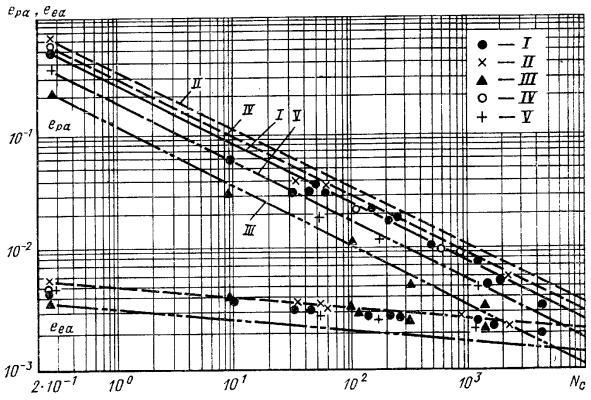


Рис. 6. Связь амплитуд пластических и упругих деформаций с числом циклов до образования трещины (обозначения см. в табл. 1)

постоянная C_{pc} может быть определена из рассмотрения условий статического разрушения ($2e_{pa} = e_f$ при $N_c = 1/4$), т. е.

$$C_{pc} = \frac{1}{2}e_f; \quad e_f = \ln\frac{100}{100-\psi}, \tag{19}$$

где ψ — относительное сужение площади поперечного сечения металла соответствующей зоны сварного соединения. Постоянная C_{ec} определяется из соотношения $2e_{ea} = S_k/E$ при $N_c = 1/4$, т. е.

$$C_{ec} = \frac{S_k}{E \cdot 4^{m_{ec}}}. \tag{20}$$

Показатель степени m_{ec} для основного металла и металла сварных соединений равен примерно 0,1; тогда

$$C_{ec} = \frac{S_k}{1{,}15E}. \tag{21}$$

В соответствии с (14), (17)—(21) амплитуда полной упругопластической деформации e_{ta} и число циклов N_c до образования макротрещины связаны соотношением

$$e_{ta} = 0{,}25e_f N_c^{-m_{pc}} + 0{,}435\frac{S_k}{E}N_c^{-m_{ec}}. \tag{22}$$

Кривые малоциклового разрушения при жестком нагружении по уравнению (22), т. е. в амплитудах суммарных деформаций при $m_{pc} = 0{,}5$ и $m_{ec} = 0{,}1$, а также экспериментальные результаты для основного металла и металла шва сварных соединений показаны на рис. 7.

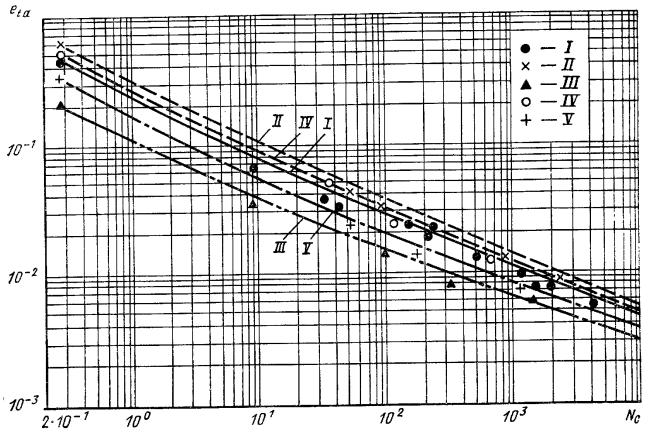


Рис. 7. Связь между амплитудами упругопластических деформаций и числом циклов до образования трещины (обозначения см. в табл. 1)

Различие в сопротивлении упругопластическим статическим и циклическим деформациям основного металла и металла шва сварного соединения определяет неоднородность распределения упругопластических деформаций в сварном соединении, зону разрушения и разрушающее число циклов N_c [13]. Например, испытания при жестком нагружении образцов из стали 22К со сварным швом (ручная сварка), в которых зона сплавления располагалась в середине рабочей части образца, показали, что окончательное разрушение образцов из основного металла и из металла сварных соединений происходило при числах циклов N_f, превышающих N_c и зависящих от амплитуды деформации. Связь между величинами e_{pa} и N_f может быть записана в таком же виде, как и между величинами e_{pa} и N_c:

$$2e_{pa}N_f^{m_{pf}} = C_{pf}, \tag{23}$$

где m_{pf} и C_{pf} — постоянные материала применительно к стадии разрушения.

Величины C_{pf} и m_{pf} в первом приближении можно определить, предположив, что размах пластической деформации равен разрушающей деформации e_f по (19)

при $N_f = 1/2$ и что числа циклов N_f и N_c равны при циклических напряжениях, равных пределу выносливости (на базе 10^7). В соответствии с этими предположениями $C_{pf} = e_f/2^{m_{pf}}$ и $m_{pf} = 1{,}04m_{pc}$. Тогда из уравнения (23) получается

$$N_c \approx 0{,}52N_f^{1{,}04}. \qquad (24)$$

Связь между числами циклов N_c и N_f по результатам эксперимента (точки) и по уравнению (24) (сплошная линия) показана на рис. 8. С увеличением числа циклов N_f отношение числа циклов N_c до образования трещины к числу циклов N_f до разрушения увеличивается. Уравнение (24) достаточно хорошо описывает результаты экспериментов как на основном металле, так и на металле зон сварных соединений.

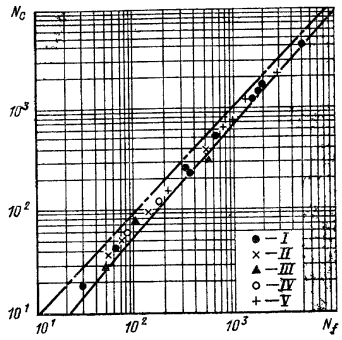


Рис. 8. Связь между числами циклов до образования трещины и до окончательного разрушения по данным расчета и эксперимента (обозначения см. в табл. 1)

Разрушению при мягком нагружении ($\sigma_a = \text{const}$) циклически анизотропных металлов предшествует одностороннее накопление пластических деформаций $\bar{e}_p^{(k)}$ (см. рис. 2). Например, для металла сварных соединений стали 22К в области небольшого числа циклов (от 1 до $2 \cdot 10^2$) накопление пластических деформаций (см. рис. 5) в основном металле (*I*), в металле шва (*II*) и зоны термического влияния (*IV*) ручной сварки приводило к квазистатическим разрушениям (рис. 9). При этих разрушениях относительное сужение площади поперечного сечения ψ было таким же, как и при однократном разрушении. Макротрещины в рабочей части образца перед разрушением не возникали. Поверхность разрушения была волокнистой. При большем числе циклов ($N_f > 2 \cdot 10^2$) квазистатические разрушения, характеризующиеся постоянством значений ψ, постепенно сменяются усталостными, при этом увеличивается размер усталостной трещины и уменьшается относительное сужение ψ. При числе циклов около $2 \cdot 10^3$ величина ψ составляет не более 0,5 величины ψ при однократном разрушении, а площадь усталостной трещины достигает 30—45% площади в изломе. Однако поверхность излома образца в последнем полуцикле растяжения оставалась также волокнистой.

Металл электрошлакового шва (III), обладающий пониженной пластичностью ($\psi = 35{,}8\%$) при однократном разрушении, при мягком нагружении квазистатически не разрушался. Снижение пластичности (ψ) вдвое у металла электрошлакового шва происходило уже при числе циклов менее 30. Переход к малоцикловым усталостным разрушениям у металла зоны термического влияния (*V*) электрошлакового сварного соединения начинается при числе циклов менее 30. Доля волнистой составляющей в изломе $F_в$ у металла сварного шва (*III*) при числах циклов более 30 начинает резко уменьшаться, и при числе циклов более 200 поверхность разрушения в последнем полуцикле оказывается кристаллической. Доля кристаллической составляющей в изломе металла зоны термического влияния (*V*) увеличивается до 15—20% при числе циклов более 700.

Таким образом, при малоцикловом мягком нагружении у основного металла и металла сварных соединений происходит накопление односторонних пластических деформаций в сочетании с циклическими пластическими деформациями, характеризующимися шириной петли упругопластического гистерезиса.

Накопленное квазистатическое повреждение оценивается отношением односторонне накопленной деформации к разрушающей статической $e_p^{(k)}/e_f$.

Накопленное усталостное повреждение оценивается отношением пройденного числа циклов к разрушающему n_f/N_f. Условие разрушения при мягком нагружении в области перехода от квазистатических разрушений к усталостным с использованием правила линейного суммирования квазистатических и усталостных повреждений может быть записано в виде

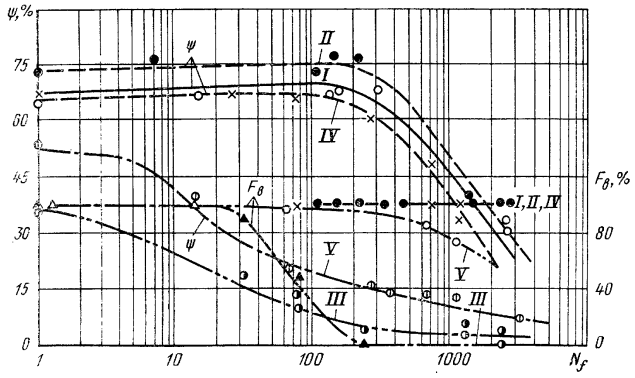


Рис. 9. Зависимость относительного сужения поперечного сечения и доли волокнистой составляющей в изломе от числа циклов до разрушения (обозначения см. в табл. 1)

$$e_p^{(k_f)}/e_f + n_f/N_f = D, \qquad (25)$$

где $e_p^{(k_f)}$ — односторонне накопленная пластическая деформация для числа полуциклов k_f; k_f — число полуциклов нагружения до разрушения в переходной области; e_f — деформация при однократном разрушении; n_f — число циклов до смешанного разрушения при мягком нагружении ($n_f = k_f/2$); N_f — число циклов до усталостного разрушения при жестком нагружении при заданной амплитуде пластической деформации; D — суммарное накопленное повреждение.

Квазистатическое разрушение происходит при величине односторонне накопленной пластической деформации $e_p^{(k_f)} = e_f$; при этом накопленное усталостное повреждение $n_f/N_f \ll 1$ мало, т. е. квазистатическое повреждение является преобладающим и $e_p^{(k_f)}/e_f \approx D = 1$.

При усталостном малоцикловом разрушении, когда не происходит одностороннее накопление пластических деформаций (жесткое нагружение $e_p^{(k_f)}/e_f \ll 1$), накопленное усталостное повреждение является преобладающим и $n_f/N_f \approx D = 1$.

В переходной области одностороннее накопление пластических деформаций сочетается с накоплением усталостных повреждений; поэтому в этой области можно принять суммарное накопление повреждений D, равное 1.

Односторонне накопленная пластическая деформация определяется по уравнениям (8) и (9) при $k = k_f$; деформация e_f — по уравнению (19). Эквивалентная амплитуда пластических деформаций $e^{э}_{pa}$ для числа циклов n_f при мягком нагружении определяется при условии линейного суммирования усталостных повреждений

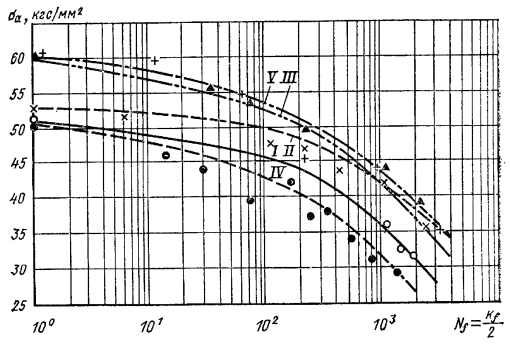


Рис. 10. Связь между амплитудой напряжений при мягком нагружении и числом циклов до разрушения (обозначения см. в табл. 1)

ний при непрерывно меняющихся (см. рис. 3) амплитудах пластических деформаций $e^{э}_{pa} = \delta^{(k)}/2$ по уравнению (1) с использованием уравнения (23):

$$\left(2e^{э}_{pa}\right)^{1/m_{pf}} n_f = \int_1^{k_f} [\delta^{(k)}]^{1/m_{pf}} d\left(\frac{k_f}{2}\right). \qquad (26)$$

Число циклов до разрушения N_f при жестком нагружении при амплитудах $e^{э}_{pa}$ определяется по уравнению (23).

Сопротивление малоцикловому разрушению при мягком нагружении, выраженное в амплитудах напряжений $\sigma_a = \sigma^{(0)}$ для основного металла [17] и металла сварных соединений (*II*—*V*), показано на рис. 10. Кривые на рис. 10 проведены по данным расчета по уравнению (25) при $D = 1$. Разрушающие амплитуды напряжений σ_a, определенные из эксперимента, показаны на рис. 10 точками. Кривые разрушения металла сварных соединений при мягком нагружении в широком диапазоне числа циклов до разрушения с использованием выражения (15) (от 10^0 до 10^7) можно описать уравнением

$$\left(\frac{\sigma_a}{1-\psi}\right) N_f^{m_\sigma} = C_\sigma/2, \qquad (27)$$

где ψ — относительное сужение площади поперечного сечения при нагружении.

При этом постоянная C_σ в первом приближении определяется исходя из предположения о том, что однократное разрушение ($N_f = 1$) происходит при напряжении в момент потери устойчивости пластических деформаций [$(\sigma_a = \sigma_в/(1 - \psi_в)$, где $\psi_в$ — равномерное сужение]. Тогда

$$C_\sigma = 2\,\frac{\sigma_в}{1-\psi_в}. \qquad (28)$$

При известном пределе выносливости σ_{-1} металла сварного соединения (для $N_f = 10^7$)

$$m_\sigma \cong 0{,}15\,\lg\frac{\sigma_в}{(1-\psi_в)\,\sigma_{-1}}. \qquad (29)$$

Для металла сварных соединений из малоуглеродистых и низколегированных сталей при $\sigma_{-1}/\sigma_в = 0{,}4 \div 0{,}5$ и $\psi_в = 0{,}1 \div 0{,}3$ по уравнению (29) $m_\sigma = 0{,}07 \div 0{,}09$. Числа циклов N_c до образования трещин при мягком нагружении и для заданных N_f определяют по уравнению (24). Изменение температур испытаний сказывается на сопротивлении малоцикловому разрушению при мягком и жестком нагружении. Влияние температур на долговечность при малоцикловом нагружении учитывается введением в уравнения (22) и (27) характеристик статических механических свойств для данной температуры.

СОПРОТИВЛЕНИЕ РАЗВИТИЮ ТРЕЩИН

Рассмотренные выше закономерности разрушения относились к двум основным стадиям разрушения — к моменту образования микротрещины при числе циклов N_c и к моменту полного разрушения N_f. В диапазоне между N_f и N_c происходит рост трещины от начального размера l_0 до критического $l_к$. При амплитудах номинальных напряжений σ_a в пределах от $0{,}3\,\sigma_т$ до $0{,}8\sigma_т$, когда соблюдаются основные соотношения механики разрушения, скорость развития трещин определяется размахом ΔK коэффициента интенсивности напряжений. При этом между величиной приращения длины трещины на цикл нагрузки dl/dN и ΔK существует степенная зависимость, предложенная Пэрисом:

$$dl/dN = C_{\sigma l}\,(\Delta K)^{m_{\sigma l}}, \qquad (30)$$

где $C_{\sigma l}$ и $m_{\sigma l}$ — постоянные, зависящие от материала и условий нагружения.

Уравнение (30) справедливо как для основного металла, так и для металла сварных соединений, когда $N_f > 10^4$ и dl/dN изменяется в пределах от $2 \cdot 10^{-5}$ до $2 \cdot 10^{-3}$ мм/цикл. Параметры уравнения (30) для ряда сварных соединений приведены [6] в табл. 4. Характеристики механических свойств металла этих соединений при статическом и циклическом нагружении указаны в табл. 3.

4. Параметры уравнения для скорости развития трещин

Сталь	Марка электрода	Зона сварного соединения	$C_{\sigma l}$	$m_{\sigma l}$
ВСт3сп	УОНИ-13/45	Основной металл	$2{,}8 \cdot 10^{-11}$	3,5
		Металл шва	$2{,}1 \cdot 10^{-9}$	2,6
		Переходная зона	$3{,}8 \cdot 10^{-10}$	3,0
09Г2С	УОНИ-13/45	Основной металл	$1{,}7 \cdot 10^{-11}$	3,5
		Металл шва	$2{,}9 \cdot 10^{-11}$	3,0
		Переходная зона	$2{,}8 \cdot 10^{-10}$	3,0
16Г2АФ	УОНИ-13/65	Основной металл	$4{,}4 \cdot 10^{-9}$	2,4
		Металл шва	$4{,}0 \cdot 10^{-8}$	2,0
		Переходная зона	$4{,}0 \cdot 10^{-8}$	2,0

Увеличение амплитуд напряжений приводит к резкому повышению скоростей развития трещин. На рис. 11 показаны результаты малоцикловых испытаний сталей ВСт3сп и 09Г2С и металла сварных соединений при номинальных напряжениях от 0,6 до 1,2 предела текучести и коэффициенте асимметрии в пределах 0,1—0,2. При скоростях развития трещин более $2\cdot10^{-3}$ 1/мм показатели степени $m_{\sigma l}$ увеличиваются в 2,5—3 раза по сравнению с теми, которые приведены в табл. 4.

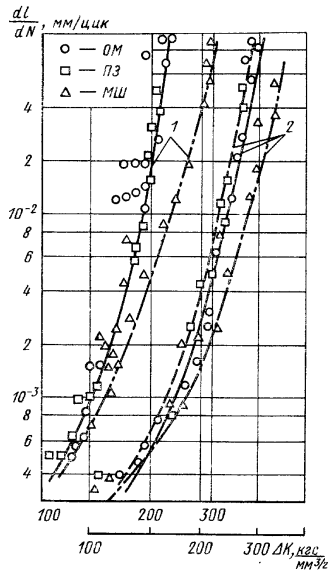


Рис. 11. Зависимость скорости развития трещин от размаха коэффициента интенсивности напряжений:

1 — сварное соединение из стали ВСт3сп; 2 — сварное соединение из стали 09Г2С (ОМ — основной металл, ПЗ — переходная зона, МШ — металл шва)

Для более широкого интервала чисел циклов N_f (от $3\cdot10^6$ до 10^2) и скоростей развития трещин (от 10^{-6} до 10^{-1} 1/мм), когда размеры зон пластических деформаций в вершине трещины оказываются как существенно меньше начального размера трещин, так и сопоставимыми с ними, уравнение для скорости роста трещин можно представить [19] в форме

$$dl/dN = C_{\sigma^0}\left(\frac{K_{\max}-K_{th}}{K_{cf}-K_{\max}}\right)^{m_{\sigma^0}}, \qquad (31)$$

где C_{σ^0}, m_{σ^0} — постоянные, зависящие как и в (30), от материала и условий нагружения; $K_{\max}$ — максимальное значение коэффициента интенсивности напряжений в цикле; K_{th} и K_{cf} — пороговые значения коэффициентов интенсивности напряжений, соответствующие резкому уменьшению и увеличению скоростей развития трещин.

При значениях коэффициента интенсивности напряжений $K_{\max}$, приближающихся к K_{th}, трещины становятся практически не развивающимися. По мере приближения $K_{\max}$ к критическому значению коэффициента интенсивности напряжений K_{cf} в соответствии с (31) скорости развития трещины увеличиваются до весьма больших.

Для расчетов скоростей роста трещин по уравнению (31) в первом приближении можно принять $m_{\sigma^0}\approx 1{,}0$; $C_{\sigma_0}\approx 10^{-3}$ и $K_{th}/K_{cf}\approx 0{,}1$.

Условность формул (30) и (31) для случая малоциклового нагружения состоит в том, что при возникновении пластических деформаций в окрестности трещин вычисление значений ΔK, $K_{\max}$ и K_{cf} по формулам линейной механики разрушения становится необоснованным. В этом случае, как и для стадии образования трещин, в качестве основных следует использовать деформационные критерии разрушения [7]. Полагая при этом, что продвижение трещины на величину dl в одном цикле нагружения ($dN = 1$) происходит в той же зоне в вершине трещины, в которой местные деформации превышают предельные $\bar{e}_f = e_f/e_т$, уравнение для скорости развития трещины получается в форме

$$dl/dN = C_e(\Delta K_{le})^{m_e}\frac{1}{1-1/l_0 C_e(\Delta K_{le})^{m_e}}, \qquad (32)$$

где $C_e = 1/2\pi\bar{e}_f^2$ — постоянная, зависящая от пластичности металла; $m_e = 2$ — показатель степени; l_0 — начальная длина трещины.

Размах коэффициента интенсивности деформаций ΔK_{1e} в уравнении (32) связан с размахом коэффициента интенсивности напряжений степенной функцией

$$\Delta K_{1e} = [1/\sigma_т(\Delta K)]^{\gamma_к}, \qquad (33)$$

где $\gamma_к$ — показатель степени, рассчитываемый в зависимости от упрочнения металла в упругопластической области и уровня номинальных напряжений (величина $\gamma_к$ изменяется в пределах 1—5). При известных условиях циклического нагружения (число циклов N, коэффициент асимметрии цикла r, максимальное напряжение цикла $\sigma_{\max}$), форме и размерах начального дефекта l_0 по формулам линейной механики разрушения определяются коэффициенты интенсивности напряжений $K_{\max}$ (или ΔK), на основе интегрирования уравнений (30) — (32) строится зависимость длины трещины l от числа циклов N.

РАСЧЕТНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ

Условия образования трещин малоциклового разрушения в сварных соединениях (для низкоуглеродистых и низколегированных сталей с отношением $\sigma_{0,2}/\sigma_в$ до 0,7) по критерию разрушения при жестком нагружении описываются уравнением (22). Если предположить, что амплитуда упругой деформации e_{ea} не зависит от числа циклов N_c и при симметричном цикле равна деформации предела выносливости $\left(e_{ea} = \frac{\sigma_{-1}}{E}\right)$, то уравнение (22) можно записать в виде

$$e_{ta} = \frac{e_f}{4N_c^{m_{pc}}} + \frac{\sigma_{-1}}{E}. \qquad (34)$$

Умножая деформации в уравнении (34) на E и принимая произведение Ee_{ta} за амплитуду условных напряжений σ_a^*, на основе (34) получим [12]

$$\sigma_a^* = \frac{e_f E}{4N_c^{m_{pc}}} + \sigma_{-1}. \qquad (35)$$

Для асимметричного цикла с коэффициентом r^* асимметрии условных напряжений ($r^* = \sigma^*_{\min}/\sigma^*_{\max}$) снижение σ_a^* можно оценить, вычитая из исходной предельной пластической деформации e_f среднюю пластическую деформацию и используя диаграмму Гудмена для предельных амплитуд условных напряжений,

$$\sigma_a^* = \frac{e_f E}{4N_c^{m_{pc}} + \frac{1+r^*}{1-r^*}} + \frac{\sigma_{-1}}{1+\frac{\sigma_{-1}}{\sigma_в}\frac{1+r^*}{1-r^*}}. \qquad (36)$$

При отсутствии соответствующих экспериментальных данных в расчете следует принять [12]

$$\sigma_{-1} = k_{-1}\sigma_в, \qquad (37)$$

где k_{-1} — коэффициент, зависящий от статической прочности ($k_{-1} = 0{,}4$ при $\sigma_в \leqslant 70$ кгс/мм² и $k_{-1} = 0{,}54 + 2\cdot10^{-3}$ ($\sigma_в - 70$) при $70 \leqslant \sigma_в \leqslant 120$ кгс/мм²); $m_{pc} = 0{,}5$ при $\sigma_в \leqslant 70$ кгс/мм² и $m_{pc} = 0{,}36 + 2\cdot10^{-3}\sigma_в$ при $70 \leqslant \sigma_в \leqslant 120$ кгс/мм².

Уравнение кривой малоциклового разрушения при мягком нагружении (для $\sigma_a = \text{const}$ и коэффициенте асимметрии $r = \sigma_{\min}/\sigma_{\max}$) можно записать аналогично уравнению (36), если принять, что амплитуда пластической деформации

определяется половиной ширины петли по уравнениям (1) и (4), а нестационарность амплитуд пластической деформации учитывается показателем степени $m_{\sigma c}$:

$$\sigma_a^* = \frac{AEe_в}{4N_c^{m_{\sigma c}}}(1-r) + \frac{\sigma_{-1}}{1+\frac{\sigma_{-1}}{\sigma_в}\frac{1+r}{1-r}}, \quad (38)$$

где $e_в$ — предельная равномерная деформация при статическом нагружении, соответствующая достижению предела прочности ($e_в = \ln\frac{100}{100-\psi_в}$, $\psi_в$ — равномерное сужение).

По данным статических и малоцикловых испытаний можно принять

$$m_{\sigma c} = \left(1{,}2\frac{\sigma_{0,2}}{\sigma_в} - 0{,}35\right)\frac{1-r}{2}; \quad (39)$$

$$\psi_в = \psi\frac{1-\sigma_{0,2}/\sigma_в}{\left(1+\frac{1{,}4\psi}{100}-\sigma_{0,2}/\sigma_в\right)}. \quad (40)$$

Применительно к нетермообработанным и термообработанным сварным соединениям, в которых имеются остаточные напряжения σ_0, предполагается, что снижение амплитуд σ_a^* по уравнениям (36) и (38) определяется [12] снижением пределов выносливости σ_{-1}. При отсутствии соответствующих экспериментальных данных в уравнения (36) и (38) вместо предела выносливости σ_{-1} вводится предел выносливости для сварного соединения:

$$\sigma_{-1c} = \sigma_{-1}(1-\sigma_0/\sigma_в). \quad (41)$$

Для нетермообработанных сварных соединений в первом приближении напряжения σ_0 принимаются равными пределу текучести основного металла или металла сварного шва. Таким образом, параметры основных расчетных уравнений (36) и (38) для сварных соединений из конструкционных сталей определяются по характеристикам статических механических свойств $\sigma_в$, $\sigma_{0,2}$ и ψ различных зон сварного соединения для нормальных и повышенных температур в соответствии с зависимостями (37), (39) и (40).

Сопротивление малоцикловому разрушению сварного соединения, выполненного по отработанной технологии с применением ручной, автоматической или электрошлаковой сварки, можно определить [11, 12] по уравнениям (36) и (38) для основного металла с введением коэффициента φ_c снижения разрушающих амплитуд, устанавливаемого экспериментально:

$$\sigma_{ac}^* = \varphi_c\sigma_a^*, \quad (42)$$

где σ_{ac}^* и σ_a^* — разрушающие амплитуды условных напряжений для сварного соединения и основного металла соответственно.

Коэффициент φ_c учитывает влияние дефектности и образующихся структур сварных швов и зависит от способа сварки, свариваемых металлов и термической обработки. Для низкоуглеродистых ($\sigma_в \leqslant 50$ кгс/мм^2), низколегированных ($\sigma_в \leqslant 70$ кгс/мм^2) и аустенитных хромоникелевых сталей коэффициенты φ_c приведены [11] в табл. 5.

Уравнения (36) и (38) используются для определения запасов по долговечности n_N и по амплитудам условных напряжений n_σ на стадии образования трещин:

$$n_N = \frac{N_c}{N_э} \quad \text{и} \quad n_\sigma = \frac{\sigma_a^*}{\sigma_{aэ}^*}, \quad (43)$$

где $N_э$, $\sigma_{aэ}^*$ — число циклов и амплитуд местных условных напряжений элемента конструкции в эксплуатации,

Максимальные $\sigma_{max\,э}^*$ и амплитудные $\sigma_{aэ}^*$ местные условные напряжения в зонах концентрации рассчитывают [11, 12] как произведение коэффициентов концентрации (равных коэффициентам концентрации деформаций) на номинальные условные напряжения:

$$\sigma_{max\,э}^* = (k_\sigma^*)_{max}(\sigma_{nэ}^*)_{max} \quad \text{и} \quad \sigma_{aэ}^* = (k_\sigma^*)_a(\sigma_{nэ}^*)_a, \quad (44)$$

где $(\sigma_{nэ}^*)_{max}$ и $(\sigma_{nэ}^*)_a$ — максимальные и амплитудные номинальные напряжения; $(k_\sigma^*)_{max}$, $(k_\sigma^*)_a$ — коэффициенты концентрации максимальных и амплитудных напряжений.

5. Коэффициент снижения разрушающих амплитуд напряжений

Основной металл — сталь	Метод сварки	Состояние металла	φ_c
Низкоуглеродистая	Ручная	Без термической обработки	0,9
	Автоматическая	Отпуск	1,0
		Без термической обработки	0,9
	Электрошлаковая	Отпуск	1,0
		Нормализация — отпуск	0,8
Низколегированная	Ручная	Высокий отпуск	1,0
	Автоматическая	Высокий отпуск	0,8
	Электрошлаковая	Закалка — отпуск	0,8
Аустенитная	Ручная	Исходное состояние	1,0
	Автоматическая	Термическая обработка	1,0

6. Эффективные коэффициенты концентрации напряжений

Сварное соединение	$k_{\sigma э}^*$			
	10^2	10^3	10^4	10^5
Стыковое	3,1	2,2	1,7	1,5
Лобовое	4,4	3,5	2,6	1,8
Фланговое	6,5	4,8	4,0	3,5
Тавровое	4,0	3,3	3,0	2,7
С неполным проплавлением	5,0	3,8	3,3	3,0

Коэффициенты концентрации в первом приближении устанавливают с использованием формулы Нейбера [11, 12]

$$(k_\sigma^*)_{max} = \frac{\alpha_\sigma^2}{\sigma_{0,2}}(\sigma_{nэ}^*)_{max} \quad \text{и} \quad (k_\sigma^*)_a = \frac{\alpha_\sigma^2}{\sigma_{0,2}}(\sigma_{nэ}^*)_a, \quad (45)$$

где α_σ — теоретический коэффициент концентрации напряжений (значения α_σ для различных форм сварных соединений приведены на стр. 100, 101).

На основе (45) коэффициенты концентрации условных напряжений оказываются зависящими от уровня номинальных напряжений и, следовательно, от предельного числа циклов. Для сварных соединений в расчет по формулам (44) вместо величин k_σ^* можно вводить эффективные коэффициенты концентрации $k_{\sigma э}^*$, определяемые по данным эксперимента как отношения разрушающих амплитуд деформаций для гладкого образца из основного металла и для сварного соединения при заданной долговечности. Применительно к наиболее часто встречающимся сварным соединениям из низкоуглеродистой конструкционной стали в случае циклического изгиба в табл. 6 приведены [5, 12] величины $k_{\sigma эа}^*$ для долговечностей от 10^2 до 10^5.

Для случая малоциклового деформирования осевыми нагрузками указанные в табл. 6 эффективные коэффициенты концентрации увеличиваются в 1,2—1,5 раза.

В расчетных уравнениях (36)—(41), (44), (45) следует использовать гарантируемые характеристики механических свойств E, $\sigma_{0,2}$, $\sigma_в$ и ψ.

Для нестационарных режимов малоциклового нагружения долговечность на стадии образования трещин определяют с использованием [11, 12] правила линей-

ного суммирования повреждений, равных отношению чисел циклов нагружения на заданном режиме эксплуатации к предельному числу циклов для эксплуатационных нагрузок рассматриваемого режима.

Запасы n_N и n_σ по уравнению (43) принимают в зависимости от типа и ответственности конструкций, устойчивости механических и конструктивных форм. Для сварных конструкций, применяемых в строительстве, энергетическом и химическом машиностроении, в судостроении эти запасы нужно выбирать соответственно не ниже 5—20 и 1,5—2.

В тех случаях, когда по соображениям безопасности и экономичности допускается эксплуатация сварных конструкций с трещинами малоциклового разрушения, размеры которых превышают размеры дефектов по техническим требованиям дефектоскопического контроля, в качестве предельного в уравнении (43) используют разрушающее число циклов

$$N_f = N_c + N_p, \tag{46}$$

где N_c — число циклов до образования трещины; N_p — число циклов развития трещины до допустимых размеров. Число циклов N_p, как указывалось выше, определяется интегрированием уравнений (30)—(32) в пределах размеров трещин от начальных l_0 до допускаемых $l_т$. При этом допускаемые размеры трещин $l_т$ должны быть меньше критических по условиям хрупкого разрушения.

СОПРОТИВЛЕНИЕ УСТАЛОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ МНОГОЦИКЛОВОМ НАГРУЖЕНИИ

ФОРМА КРИВЫХ УСТАЛОСТИ

Сварные элементы мостов, вагонов, тепловозов, кранов, подкрановых балок, экскаваторов, сельскохозяйственных и дорожных машин, цементных печей, антенно-мачтовых сооружений и многих других конструкций за срок своей службы могут

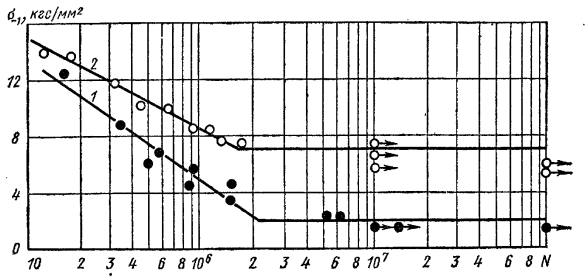


Рис. 12. Кривые усталости сварных соединений на базе 100 млн. циклов; соединения:

1 — нахлесточное с фланговыми швами; 2 — стыковое

испытывать число перемен напряжений, исчисляемое миллионами. При проверке на усталость таких конструкций в основе расчетных сопротивлений должны лежать пределы выносливости соединений, т. е. напряжения, отвечающие горизонтальному участку соответствующей кривой усталости (рис. 12). Когда сварной элемент или конструкцию рассчитывают на заданную долговечность в пределах $10^5 - 2 \times 10^6$ циклов, за предельные напряжения принимают ограниченные пределы выносливости — напряжения, соответствующие на кривой усталости заданному числу циклов.

При графическом изображении в логарифмических ($\lg\sigma$, $\lg N$) или полулогарифмических координатах (σ, $\lg N$) кривые усталости сварных соединений могут быть представлены в виде двух прямых: одной — круто падающей и другой — горизонтальной. После перелома происходит некоторое дальнейшее понижение долговечности с возрастанием числа циклов, но для практических целей им обычно пренебрегают. В качестве примера на рис. 12 приведены кривые усталости сварных образцов сечением 200 × 26 мм со стыковыми и с фланговыми швами. Испытания соединений проводились на базе 100 млн. циклов [17].

В зависимости от принимаемого критерия завершения испытаний наклонные участки кривых и места переломов заметно смещаются. Когда критерием завершения испытаний крупногабаритных сварных образцов служит начальная стадия развития усталостной трещины, перелом кривых обычно наблюдается в интервале 1,5—4 млн. циклов и в первом приближении можно полагать, что его положение не зависит от вида соединения и типа образца. Установлено также, что базе $2 \cdot 10^6$ циклов соответствует менее 20% точек перелома кривых усталости, в то время как базе 5 млн. циклов — около 99,9% [17].

В наибольшей мере экспериментальным данным отвечает экспоненциальное уравнение кривой усталости с числом циклов в показателе экспоненты

$$\sigma = \sigma_r e^{\frac{m}{N+B}} \quad \text{или} \quad \ln\sigma - \ln\sigma_r = \frac{m}{N+B}, \tag{47}$$

где σ — действующее напряжение; σ_r — предел выносливости; B и m — параметры кривой усталости.

После замены переменных $\ln\sigma$ на x и $\frac{1}{N+B}$ на y уравнение приводится к линейному виду

$$y = \frac{1}{m}(x - \ln\sigma_r).$$

Это уравнение так же, как и уравнение (15), можно использовать для получения значений пределов выносливости (путем экстраполяции результатов испытаний сварных соединений), отвечающих области ограниченной долговечности.

В некоторых случаях кривые усталости получают по результатам испытания сварных образцов до полного излома. Сопоставления их с кривыми усталости, полученными по критерию образования трещины или начальной стадии ее развития, показывают, что от момента возникновения трещины до полного излома сварные соединения могут выдерживать значительное число перемен нагрузок. При низких напряжениях для полного развития усталостной трещины может потребоваться несколько миллионов циклов. Иногда это может быть использовано для продления срока эксплуатации конструкции и установления ее расчетной живучести в области ограниченной долговечности. Однако для большинства упомянутых выше металлоконструкций усталостные повреждения, отвечающие начальной стадии образования трещин, имеют решающее значение, так как после достижения этими трещинами определенных критических размеров возможен переход усталостного разрушения к внезапному хрупкому при низких номинальных напряжениях.

В сварных элементах мостов, грузоподъемных, транспортных и дорожных машинах, подвижном составе железных дорог усталостные повреждения вызываются сравнительно невысокими переменными напряжениями. В то же время эти машины и конструкции могут эксплуатироваться при низких климатических температурах, а также испытывать небольшие ударные импульсы случайного харак-

тера или же вполне закономерные (например, железнодорожные вагоны или экскаваторы). При таких условиях и толщинах металла 20—30 мм и более резкое падение разрушающих напряжений может наблюдаться при глубине усталостной трещины 3,5—4,5 мм [17]. В этой связи рассматриваемые конструкции нужно рассчитывать на усталость по критерию зарождения усталостной трещины или начальной стадии ее развития.

СОПРОТИВЛЕНИЕ СОЕДИНЕНИЙ ЗАРОЖДЕНИЮ УСТАЛОСТНЫХ ТРЕЩИН

Сопротивление сварных соединений зарождению усталостных трещин определяется следующими основными факторами: концентрацией напряжений, создаваемой формой соединения, остаточной напряженностью в зонах концентрации, дефектностью швов, режимом действующих переменных нагрузок — числом перемен напряжений, их размахом, изменчивостью во времени и частотой. Другие факторы (механические свойства и химический состав стали, неоднородность свойств околошовной зоны, способ дуговой сварки, тип электродов, конфигурация разделки стыкуемых кромок) оказывают меньшее влияние на стадию образования усталостного повреждения, особенно при напряжениях, близких к пределу выносливости.

В качественных соединениях, не обрабатываемых после сварки, усталостные трещины, как правило, зарождаются в зонах концентрации напряжений. Наиболее низкую выносливость имеют нахлесточные соединения с фланговыми швами. В таких соединениях напряжения распределяются неравномерно по длине шва. Наиболее высокая концентрация напряжения создается по концам шва. В этих местах обычно и появляются усталостные трещины.

Обварка по контуру приводит к более равномерному распределению силового потока в нахлесточном соединении. Концентрация напряжений снижается. Вместе с тем добавление лобового шва может увеличить остаточную напряженность соединения. Тем не менее сопротивление усталости несколько возрастает. В таких соединениях усталостные трещины обычно зарождаются по линии сплавления лобового шва.

В различных соединительных швах трещины усталости могут возникать в наплавленном металле. При дальнейшем развитии они переходят на основной металл. Наименьшую концентрацию напряжений создают стыковые соединения. Такие соединения имеют наибольшую выносливость. Усталостные трещины в стыковых швах наиболее часто появляются по линиям сплавления. В тех случаях, когда могут влиять остаточные напряжения, трещины зарождаются по линии сплавления в зонах высоких растягивающих остаточных напряжений — по середине шва или (если приваривались выводные планки) по концам шва.

Даже весьма качественные стыковые и угловые швы всегда имеют небольшие неровности, наплывы, подрезы и т. д. Эти незначительные изменения профиля шва, усиливая концентрацию напряжений в отдельных точках, могут вызвать преждевременное зарождение усталостной трещины. В то же время такие изъяны шва трудно воспроизвести или учесть при экспериментальном или расчетном определении коэффициентов концентрации напряжений α_σ сварных соединений. Для одних и тех же соединений в различных исследованиях получены различающиеся значения α_σ [17, 20]. Концентрация напряжений нахлесточных соединений с фланговыми швами, в зависимости от соотношений геометрических параметров соединения, характеризуется значениями $\alpha_\sigma = 1{,}8 \div 3{,}2$. Для соединений с лобовыми швами $\alpha_\sigma = 3 \div 4$ и более. В то же время по данным аналитических исследований Токийского университета коэффициенты концентрации таких соединений, относящиеся к упругой области напряжений, не превышают 1,32. С приведенными результатами согласуются коэффициенты концентрации, полученные в Институте электросварки им. Е. О. Патона АН УССР применительно к качественным соединениям и наиболее распространенным геометрическим параметрам швов и соединений:

Типы соединений	α_σ
Стыковые	1,3
Прикрепления фасонок встык	1,4
ребер жесткости, диафрагм и т. п. элементов	1,6
Нахлесточные с обваркой по контуру	1,7
с фланговыми швами	2,3

В местах изменения сечения концентрируются не только напряжения от внешних нагрузок, но и сварочные остаточные напряжения, возникшие в процессе образования швов. Остаточные напряжения, изменяя асимметрию цикла, при определенных условиях могут существенно влиять на сопротивление усталости сварных соединений. Степень их влияния зависит от асимметрии цикла, вида соединения и характера передачи силового потока. Наибольшее падение выносливости сварных соединений под действием растягивающих остаточных напряжений наблюдается при симметричном цикле напряжений. В некоторых случаях под влиянием этого фактора предел выносливости может снизиться до 35—50%.

С ростом асимметрии цикла влияние остаточных напряжений на предел выносливости заметно снижается. Если стыковые и нахлесточные соединения, участвующие в передаче основного силового потока, изменяют пределы выносливости под действием растягивающих остаточных напряжений только при знакопеременных нагрузках, то в местах прикрепления конструктивных элементов (ребер, проушин, диафрагм, фасонок и т. п.) растягивающие остаточные напряжения могут проявить свое влияние и в области однозначных переменных напряжений.

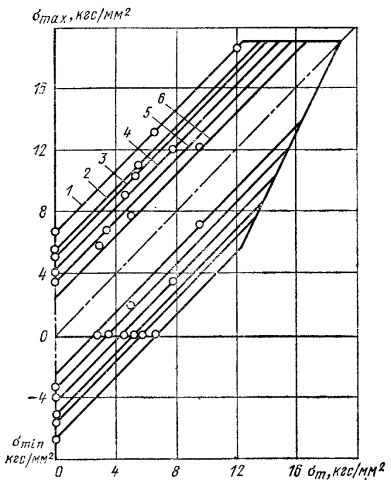


Рис. 13. Диаграммы предельных напряжений сварных соединений низкоуглеродистых сталей:

1 — стыковые соединения; *2* — прикрепления фасонок встык; *3* — пересекающиеся швы; *4* — прикрепления ребер жесткости; *5* — нахлесточные соединения с обваркой по контуру; *6* — нахлесточные соединения с фланговыми швами

Остаточная напряженность заметно изменяет характер зависимости пределов выносливости от асимметрии цикла переменных напряжений. Диаграммы предельных напряжений для основных видов сварных соединений с максимальными остаточными напряжениями показаны на рис. 13. Эти диаграммы относятся к низкоуглеродистым сталям с пределом текучести 24—25 кгс/мм². Они получены по данным усталостных испытаний сварных образцов сечением 200 × 26 мм при различной асимметрии цикла. База испытаний составляла 10^7 циклов. Верхние участ-

ки ветвей диаграмм 1—6 отсечены допускаемым уровнем напряжений по условиям статического нагружения. Ветви диаграмм предельных напряжений практически параллельны.

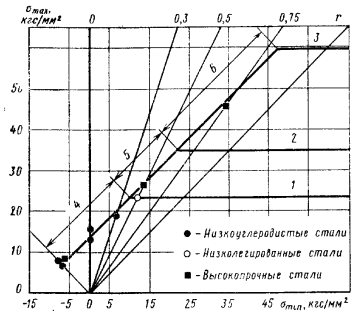


Рис. 14. Совмещенная диаграмма предельных напряжений стыковых соединений низкоуглеродистых сталей (●, $\sigma_т = 24 \div 25$ кгс/мм²), низколегированных (○, $\sigma_т = 33 \div 40$ кгс/мм²) и сталей повышенной прочности (■, $\sigma_т = 60$ кгс/мм²):

1—3 — предельные статические напряжения соответственно низкоуглеродистых, низколегированных и высокопрочных сталей; *4—6* — области рационального использования соответственно низкоуглеродистой, низколегированной и высокопрочной низколегированной сталей

Аналогичные диаграммы и закономерности получены применительно к сварным соединениям низколегированных сталей. В соответствии с экспериментальными данными [17] пределы выносливости сварных соединений с высокими растягивающими остаточными напряжениями практически не зависят от прочности основного материала [17]. На совмещенной диаграмме сварному соединению более прочной стали соответствует линия предельных напряжений, относящаяся к менее

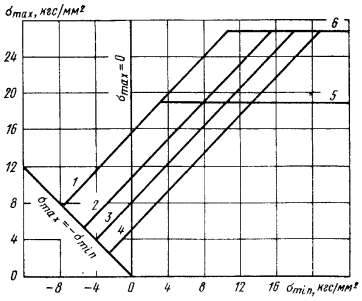


Рис. 15. Диаграммы предельных напряжений сварных соединений с дефектами, расположенными в зонах высоких растягивающих остаточных напряжений:

1 — дефектов нет (стыковой шов на стали 09Г2С); *2* — поры в стыковых или угловых швах; *3* — подрезы глубиной 2—3,5 мм в стыковых швах; *4* — непровары; *5* и *6* — основные расчетные сопротивления соответственно низкоуглеродистых и низколегированных сталей

прочному материалу, продолженная до заданного уровня предела текучести или предельного статического напряжения (рис. 14).

Дефекты сварных швов существенно снижают сопротивление усталости соединения, особенно в тех случаях, когда они располагаются в зонах высоких растягивающих остаточных напряжений. В то же время вид диаграмм предельных напряжений сохраняется (рис. 15).

Во всех случаях ветви диаграмм предельных напряжений наклонены под углом 45° к оси абсцисс. Это указывает на то, что для рассматриваемых условий предельные амплитуды σ_a (или размахи напряжений $2\sigma_a$) не зависят от среднего

напряжения цикла σ_m. Поэтому расчет на усталость в многоцикловой области при $N > 2$—5 млн. циклов может проводиться по размахам напряжений без учета влияния асимметрии цикла. Применительно к необрабатываемым после сварки качественным соединениям допустимые размахи напряжений $2\sigma_a$, отвечающие вероятности неразрушения $p = 0{,}95$, рекомендуется принимать [17] равными:

Типы соединений:	$2\sigma_a$, кгс/мм²
Стыковые	11,6
Прикрепления:	
фасонок встык	9,4
ребер жесткости	6,8
Нахлесточные:	
с обваркой по контуру	5,2
с фланговыми швами	3,6

В последнее время, особенно в США и Англии, расчет сварных соединений все более часто выполняют по размахам напряжений. В частности, такой подход принят в новом британском стандарте BS153 для расчета на усталость сварных соединений мостов и других конструкций. Тем не менее в среднецикловой области (при $10^5 < N < 2 \cdot 10^6$ циклов) отмеченные выше закономерности изменения сопротивления усталости нарушаются и расчет по размахам напряжений в этой области может приводить к заметным погрешностям. Это связано с тем, что с увеличением напряжения от переменных нагрузок в зонах концентрации под влиянием пластических деформаций растягивающие остаточные напряжения могут изменять не только свою величину, но и знак. Вследствие этого меняются сопротивления усталости сварного соединения и диаграммы предельных напряжений становятся иными. На рис. 16 приведены диаграммы предельных напряжений нахлесточных соединений с фланговыми швами. В среднецикловой области размахи напряжений заметно изменяются в зависимости от асимметрии цикла. С понижением r размахи напряжений возрастают и относительное влияние этой зависимости усиливается с уменьшением N.

Перестает действовать и другая отмеченная ранее особенность, касающаяся влияния прочности материала. В среднецикловой области сопротивление усталости сварных соединений заметно увеличивается с повышением прочности основного металла. На рис. 17 совмещены диаграммы предельных напряжений при различных числах циклов N для стыковых соединений сталей различной прочности (сплошной линией показаны диаграммы низкоуглеродистой стали с пределом текучести 24—25 кгс/мм², пунктирными линиями — соответствующие диаграммы низколегированных сталей с пределом текучести 30—40 кгс/мм² и штриховой линией — диаграммы сталей с пределом текучести 60 кгс/мм²).

Эти диаграммы построены по данным большого числа кривых усталости, полученных [17] при испытании сварных образцов сечением 200 × 26 мм при коэффициентах асимметрии r, равных —1; 0; +0,3; +0,5 и +0,75.

Если при симметричном цикле напряжений стыковые соединения из низкоуглеродистых, низколегированных и высокопрочных сталей имеют одинаковые предельные напряжения при соответствующих значениях N (что связано с проявлением остаточных напряжений), то по мере увеличения коэффициента асимметрии цикла r линии предельных напряжений расходятся, выявляя преимущества более прочных сталей. При $r = 0{,}15$, например, размах напряжений, отвечающий низколегированной высокопрочной стали, на 22% выше, чем у низкоуглеродистой. То же наблюдается и у соединений других видов (рис. 18).

В среднецикловой области в большей степени, чем в многоцикловой, следует считаться и с влиянием частоты нагружения. С увеличением частоты нагружения возрастают скорость деформации и упрочнение, вследствие чего может повышаться сопротивление усталости сварного соединения. Медленное нагружение заметно снижает долговечность образцов. Наибольшее падение долговечности наблюдается в интервале частот 300—30 циклов/мин [17]. Мосты, краны, подкрановые балки, экскаваторы и многие другие конструкции загружаются с меньшей частотой. Поэтому долговечность сварных соединений таких конструкций при $N < 5$ млн.

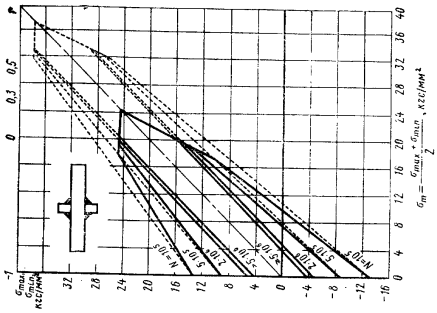


Рис. 18. Диаграммы предельных напряжений прикрепления ребер жесткости диафрагм и подобных элементов, отвечающие различным числам циклов; сплошные линии — низкоуглеродистые стали, $\sigma_т = 24 \div 28$ кгс/мм²; пунктирные линии — низколегированные стали, $\sigma_т = 34 \div 49$ кгс/мм²

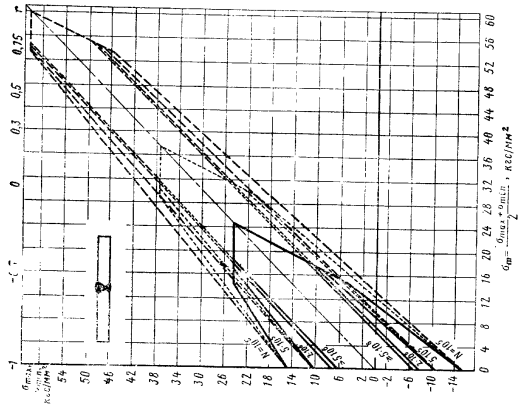


Рис. 17. Диаграммы предельных напряжений стыкового соединения низкоуглеродистой, низколегированной и высокопрочной низколегированной сталей для различных чисел циклов

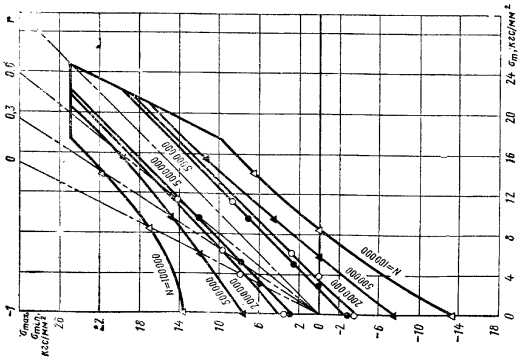


Рис. 16. Диаграммы предельных напряжений нахлесточного соединения с фланговыми швами, соответствующие различным числам циклов

циклов должна оцениваться с учетом влияния частоты испытаний образцов. В тех случаях, когда частота испытаний отличается от эксплуатационной, в результате испытаний следует вводить соответствующие поправки. Поскольку сварные образцы чаще всего испытывают на частотах 300—1800 цикл/мин, полученные долговечности рекомендуется понижать в 2—2,5 раза, а ограниченные пределы выносливости на 3—4 кгс/мм². Пределы выносливости, установленные при испытаниях сварных образцов на больших базах (5—10 млн. циклов), для практических целей можно принимать без поправок.

Сопротивление усталости сварных соединений в исходном состоянии значительно ниже выносливости основного материала. Пределы выносливости необработанных стыковых соединений могут составлять лишь $^1/_2$, а нахлесточных соединений $^1/_4$—$^1/_6$ пределов выносливости основного металла. Поэтому в некоторых случаях возникает необходимость в использовании мер, повышающих сопротивление усталости соединений.

Оценка эффективности известных способов и разработка новых методов повышения выносливости сварных соединений выполняются по данным специальных экспериментальных исследований. Сопоставление и обобщение результатов этих исследований позволяют установить [17] рациональные области применения отдельных способов обработки и выделить наиболее эффективные (табл. 7).

7. Повышение пределов выносливости (в %) сварных соединений низкоуглеродистых и низколегированных сталей после различных видов обработки

Обработка	Соединения			Прикрепления конструктивных и связующих элементов
	стыковые	с лобовыми швами	с фланговыми швами	
Механическая зачистка швов	60—90 / 20—95	20 / 5—25	— / 0—10	— / 0—30
Электродуговая обработка швов	35—90 / 35—280	— / 30	—	60—80 / 10—20
Высокий отпуск	30—70 / 0	— / 0	30 / 0	90—260 / 60
Предварительная статическая перегрузка	50 / —	— / —	— / 45	— / 40
Поверхностный наклеп пневмомолотком, многобойковым устройством и т. п.	80—105 / 35—55	40—100 / 60	20—40 / 25	255 / 25—75
Точечный и местный нагрев	—	—	— / 80—105	65 / 45—[illegible]
Точечное и линейное пластическое обжатие	[illegible] / 30	—	— / 70—90	110 / —
Импульсная обработка	— / 25	—	—	75—120 / 45—125

Примечание. В числителе приведены пределы выносливости при $r = -1$, в знаменателе — при $r = 0$.

Однако универсальных способов повышения сопротивления усталости сварных соединений всех видов при различных условиях их переменного нагружения не существует. Из способов общей обработки конструкции или ее отдельных элементов наибольшего внимания заслуживают высокий отпуск и предварительная перегрузка конструкций. Эти два способа как бы дополняют друг друга. Если высокий отпуск эффективен в области знакопеременных напряжений и более заметно повышает сопротивление усталости соединений с невысокой концентрацией напряжений, то предварительная перегрузка, наоборот, обеспечивает лучшие результаты в области однозначных переменных напряжений и в случае применения сварных соединений с повышенной концентрацией напряжений.

Способы местной обработки соединений, повышающие выносливость за счет наводимых сжимающих остаточных напряжений, для большинства соединений оказываются более действенными, чем способы, основанные на снижении концентрации напряжений. Исключение составляют стыковые соединения, для которых механическая зачистка и электродуговая обработка (сглаживание швов в местах перехода на основной металл с помощью аргоновой горелки и вольфрамового электрода) являются столь же эффективными мерами, как и поверхностно пластическое деформирование. Поверхностный наклеп наряду с широким применением в машиностроении для упрочнения деталей машин использовался для повышения сопротивления усталости сварных рам тележек подвижного состава и сельскохозяйственных машин, мостовых кранов, сварных швов трубопроводов и других изделий [4]. Перспективным может оказаться импульсный способ обработки. Существенно повышая сопротивление усталости сварных соединений, этот способ не снижает их стойкости при хрупких разрушениях. Для большинства металлоконструкций машин и сооружений характерен либо нестационарный режим нагружения с меняющейся амплитудой напряжений, либо двухчастотный вид нагружения.

Применительно к расчетам на усталость сварных соединений имеется несколько предложений по приведению нестационарного нагружения со случайной изменчивостью как максимальных σ_{max}, так и минимальных σ_{min} напряжений к эквивалентному стационарному режиму нагружения $\sigma_э$. Однако решения относятся к тому случаю, когда кривые усталости могут быть выражены функцией типа (15) $\sigma^m N = \text{const}$.

В более общей постановке, когда уравнение кривой описывается экспоненциальным уравнением (47), задача рассматривается в работе [14]. При ее решении принимается:

1) гипотеза Пальмгрена-Майнера о линейном характере накопления усталостного повреждения

$$\sum \frac{n_l}{N_l} = 1, \tag{48}$$

где n_l — число циклов, воспринимаемое на i-м уравне напряжений σ_l; N_i — предельная долговечность при напряжении σ_l;

2) в координатах σ_{min}, σ_{max} зависимость предельного напряжения σ_r от коэффициента асимметрии цикла r выражается уравнением

$$\sigma_r = \frac{\sigma_0}{1 - kr}, \tag{49}$$

где σ_0 — среднее значение предела выносливости при $r = 0$; k — тангенс угла наклона линии предельных напряжений к оси σ_{min} (для сварных соединений с высокими остаточными напряжениями $k = 1$).

Переменные эксплуатационные нагрузки представляются стационарным случайным процессом, о свойствах которого судят по одной достаточно продолжительной реализации. Весь диапазон изменения напряжений делят на p уровней с одинаковыми промежутками между ними и считают, что $\sigma_{max\,i}$ отвечает уровню i

или располагается между уровнями i и $(i + 1)$, а $\sigma_{min\,j}$ соответствует уровню j или находится между уровнями j и $(j + 1)$. Любая последовательность циклов такого процесса представляется в виде $\| n_{ij} \|$ матрицы. Если матрица определена по достаточно продолжительной записи процесса изменений напряжений в эксплуатационных условиях, то отношение числа циклов n_{ij} с экстремальными значениями $\sigma_{max\,i}$ и $\sigma_{min\,j}$ к полному числу циклов n определит вероятность появления таких циклов в процессе. С увеличением числа уровней уменьшается интервал $\Delta\sigma$ между соседними уровнями и при $\Delta\sigma \to 0$ $\| n_{ij} \|$ матрица, нормированная по полному числу циклов, переходит в двухмерную функцию плотности вероятностей $\Phi(\sigma_{max\,i}, \sigma_{max\,j})$ появления минимума на i-м уровне после максимума на j-м уровне. Зная зависимость общего числа циклов n от времени T, можно определить число циклов изменения напряжений от $\sigma_{max\,i}$ до $\sigma_{min\,j}$ за это время:

$$n_{ij} = n(T)\,\Phi(\sigma_{max\,i},\ \sigma_{min\,j}). \tag{50}$$

В работе [14] получено следующее общее выражение для определения предельного состояния:

$$\sum_j \sum_i \frac{n_{ij}(\sigma_{max\,i},\ \sigma_{min\,j})}{A} \leqslant 1, \tag{51}$$

где

$$A = \frac{m}{\lg \dfrac{\sigma_{max\,i}}{R_{r_0}(1 - kr_j)}} - B;$$

R_{r_0} — расчетное сопротивление усталости при $r = 0$. В том случае, когда расчет выполняется по эквивалентному напряжению ($\sigma_э < R_r$), его значение рекомендуется определять по формуле

$$\sigma_э = \sigma_0 \exp\left(\frac{m \sum_j \sum_i \dfrac{n_{ij}}{N_{ij}}}{\sum_j \sum_i n_i + B \sum_j \sum_i \dfrac{n_{ij}}{N_{ij}}} \right). \tag{52}$$

Другой вид нагружения — двухчастотный (или в общем случае — полигармонический) характерен тем, что на деталь или элемент конструкции одновременно воздействуют два (или более) вида переменных напряжений, существенно отличающихся своими частотами. Такие нагружения могут испытывать транспортные машины, корпуса реакторов, барабаны котлов, лопасти колес гидротурбин (рис. 19, *а*), мосты (рис. 19, *б*), подкрановые балки, антенно-мачтовые сооружения и многие другие изделия (рис. 19). В этих машинах и сооружениях высокочастотные составляющие чаще всего порождаются вибрациями механического, гидродинамического или иного происхождения.

При определении ресурса большинства изделий и конструкций отрицательное воздействие вибраций часто либо совсем не учитывается, либо учет этого воздействия сводится только к увеличению амплитуды основного переменного напряжения на незначительную величину, отвечающую высокочастотной составляющей цикла $\sigma_{а.в}$ (рис. 20).

Простое увеличение амплитуды одночастотного нагружения неэквивалентно воздействию двухчастотного нагружения. Даже в том случае, когда двухчастотный режим нагружения при изгибе с вращением заменяется одночастотным с размахом напряжений, равным максимальной величине изменения высокочастотной составляющей (рис. 21), долговечность в первом случае оказывается более низкой, чем во втором. Эти результаты указывают и на то, что для описания накопления уста-

лостного повреждения при двухчастотном нагружении нельзя пользоваться гипотезой Пальмгрена-Майнера.

Изменение долговечности при двухчастотном нагружении в основном определяется амплитудными и частотными соотношениями действующих нагрузок [1—3]. Чем выше эти отношения, тем в большей степени снижается долговечность изделия. В той или иной мере это нашло отражение в ряде предложений по расчетному определению сопротивления усталости при двухчастотном нагружении. Однако экспериментальные проверки показали, что большинство сделанных предложений справедливо лишь для определенных условий и отвечает сравнительно узким диапазонам изменения амплитудных и частотных соотношений.

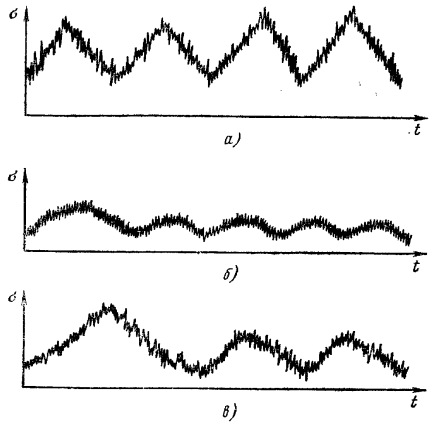


Рис. 19. Изменение напряжений, установленное с помощью осциллографирования:

а — в лопасти колес гидротурбины; *б* и *в* — соответственно в главной балке и раскосе железнодорожного моста

Линейная связь и наибольшая согласованность между имеющимися экспериментальными данными наблюдаются в координатах $\frac{\sigma_{a.в}}{\sigma_{a.н}}$, $\varkappa$ (рис. 22), где $\varkappa = \lg \frac{N_н}{N_д}$; $N_н$ — долговечность при низкочастотном нагружении; $N_д$ — долговечность при двухчастотном нагружении [15].

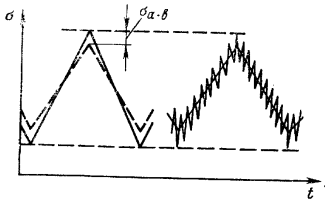


Рис. 20. Амплитуды моноциклового и двухчастотного нагружений

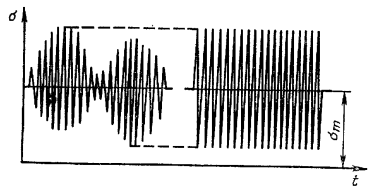


Рис. 21. Двухчастотный режим нагружения при изгибе с вращением и одночастотный — с размахом напряжений, равным максимальной величине изменения высокочастотной составляющей

Экспериментальная проверка, проведенная на крупномасштабных образцах в диапазоне изменения амплитудных соотношений $\frac{\sigma_{a.в}}{\sigma_{a.н}}$ от 0,1 до 0,8 и частотных

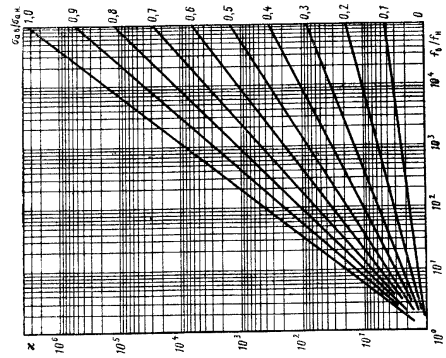


Рис. 24. Номограмма для определения $\varkappa$ в зависимости от амплитудных и частотных соотношений применительно к низкоуглеродистым сталям и их сварным соединениям

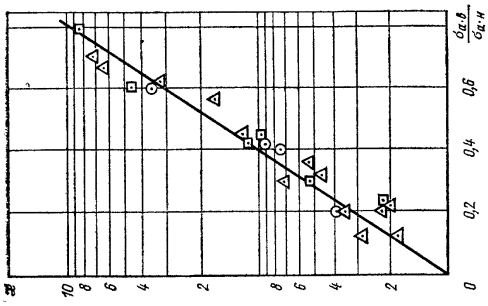


Рис. 23. Результаты экспериментальной проверки независимости коэффициента $\varkappa$ от концентрации напряжений α: ○ — $\alpha = 1{,}5$; △ — $\alpha = 2{,}5$; □ — $\alpha = 3{,}5$

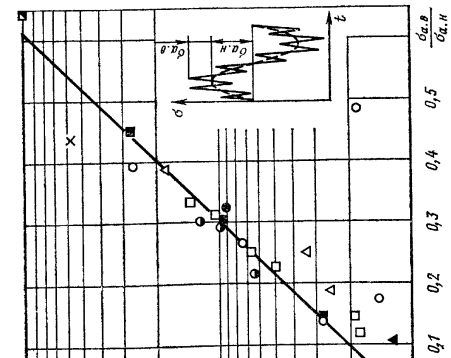


Рис. 22. Обобщение результатов испытаний сталей и алюминиевых сплавов при двухчастотном нагружении:

□ — сплав Д16АТ, растяжение, $f_в/f_н = 200$; ■ — сплав Д16АТ, растяжение $f_в/f_н = 600$; ○ — сталь 45, изгиб, $f_в/f_н = 3$; ● — сталь С43, изгиб, $f_в/f_н = 6{,}8$; ▲ — сталь С43, изгиб $f_в/f_н = 19$; ◪ — сталь с 0,23% С, изгиб $f_в/f_н = 40$; × — сталь 0Х12НДЛ, изгиб, $f_в/f_н = 100$; ◒ — сталь 45, изгиб $f_в/f_н = 100$; △ — сталь 45, изгиб с вращением, $f_в/f_н = 12{,}5$

соотношений $\frac{f_в}{f_н}$ от 100 до 5000, подтвердила инвариантность коэффициента $\varkappa$ при изменении концентрации напряжений (рис. 23), остаточных напряжений, асимметрии цикла, вида нагружения и температуры. В то же время установлена существенная зависимость коэффициента $\varkappa$ от соотношения частот $\frac{f_в}{f_н}$ и некоторое влияние от свойств материала.

Установленные закономерности позволяют определять долговечность материалов и сварных соединений при двухчастотном нагружении $N_д$ по кривым усталости, отвечающим одночастотному нагружению, путем деления экспериментально полученного значения $N_н$ на соответствующий коэффициент $\varkappa$:

$$N_д = \frac{N_н}{\varkappa}. \tag{53}$$

Коэффициент

$$\varkappa = \left(\frac{f_в}{f_н}\right)^{\nu \frac{\sigma_{а.в}}{\sigma_{а.н}}}; \tag{54}$$

его также можно определить по номограмме (рис. 24).

Коэффициент ν в формуле (9) принимают в зависимости от используемого материала:

Стали	ν	Стали	ν
Низкоуглеродистые	1,30	Хромоникелевые типа 18-8	1,54
		Среднеуглеродистые типа 45	1,80

Предполагаемый метод расчета на усталость при двухчастотном нагружении отличается простотой и согласуется с ранее полученными экспериментальными данными.

СОПРОТИВЛЕНИЕ СОЕДИНЕНИЙ РАСПРОСТРАНЕНИЮ УСТАЛОСТНЫХ ТРЕЩИН

Как уже упоминалось, продолжительность стадии развития усталостной трещины зависит от уровня действующих напряжений и вида нагружения. По числу циклов эта стадия может составлять от 20 до 90% общей долговечности соединения.

Согласно зависимости Пэриса [23] скорость роста усталостной трещины $\left(\frac{dl}{dN}\right)$ определяется размахом коэффициента интенсивности напряжений ΔK по уравнению типа (30):

$$\frac{dl}{dN} = C_\sigma (\Delta K)^{m_\sigma}, \tag{55}$$

где C_σ и m_σ — постоянные, зависящие от свойств материала и условий нагружения.

Формула (55) справедлива в интервале изменения скорости распространения усталостной трещины от $2 \cdot 10^{-5}$ до $2 \cdot 10^{-3}$ мм/цикл, в пределах которого зависимость $\lg \frac{dl}{dN} = f(\lg \Delta K)$ сохраняет свою линейность [18, 23]. При меньших и бо́льших скоростях роста трещины получаемые расчетные значения в большинстве случаев не согласуются с экспериментальными данными.

Имеющаяся обширная информация о постоянных C_σ и m_σ для расчетов по формуле (55) относится в основном к основному металлу. Использование этих данных для сварных соединений в некоторых случаях требует уточнения в связи с неоднородностью свойств сварного соединения, а также влиянием остаточных напряжений. Последний фактор может существенно изменять скорость развития усталостной трещины [16].

В отличие от стадии зарождения усталостной трещины стадия ее развития чувствительна к свойствам основного металла, сварочным материалам, режиму сварки и термической обработки [6, 13]. Влияние этих факторов на скорость развития трещины изучено пока еще недостаточно. Для ориентировочных расчетов по формуле (55) скорости распространения трещины в металле шва, околошовной зоне и основном металле (в случае низких остаточных напряжений) можно использовать значения $C_{\sigma l}$ и $m_{\sigma l}$ по табл. 4.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Богданов Б. Ф.** Статическая выносливость сплавов Д16Т, В95АТ и 30ХГСА при совместном действии нагрузок разной частоты. В кн. «Прочность и долговечность авиационных конструкций» — Киев, Гос НИИГА, вып. 2, 1965, с. 124—127.
2. **Буглов Е. Г., Коликов Э. А., Филатов М. Я.** Исследование усталости стали при бигармоническом нагружении. — Проблемы прочности, 1970, № 1, с. 46—49.
3. **Зайцев Г. В., Аронсон А. Я.** Усталостная прочность гидротурбин. М., Машиностроение, 1975. 160 с.
4. **Кудрявцев И. В., Наумченков Н. Б.** Усталость сварных конструкций. М., Машиностроение, 1976. 271 с.
5. **Ларионов В. В., Евдокимов В. В.** Малоцикловая прочность сварных соединений при изгибе. — «Автоматическая сварка», 1976, № 12, с. 12—14.
6. **Ларионов В. В., Махутов Н. А., Махов А. П.** Развитие дефектов типа трещин в стыковых швах листовой стали под действием повторных нагрузок. Выбор и обоснование методов и норм контроля качества сварных соединений. Материалы семинара, ЛДНТП, 1976, с. 31—36.
7. **Махутов Н. А.** Деформационные критерии малоциклового и хрупкого разрушения. — Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. М., ИМАШ, 1973. 71 с.
8. **Махутов Н. А.** Кинетика развития малоциклового разрушения при повышенных температурах. В кн. «Исследования малоцикловой прочности при высоких температурах». — М., Наука, 1975, с. 99—123.
9. **Муханов К. К., Ларионов В. В., Ханухов Х. М.** Метод оценки несущей способности сварных стальных конструкций при малоцикловом нагружении. Расчеты на прочность. Вып. 17. М., Машиностроение, 1976, с. 259—284.
10. **Мюнзе В. Х.** Усталостная прочность сварных стальных конструкций. М., Машиностроение, 1968. 310 с.
11. **Нормы** расчета на прочность элементов реакторов, парогенераторов, сосудов и трубопроводов атомных электростанций, опытных и исследовательских ядерных реакторов и установок. М., Металлургия, 1973. 408 с.
12. **Прочность** при малоцикловом нагружении. Под ред. С. В. Серенсена. М., Наука, 1975. 285 с.
13. **Серенсен В. Д., Махутов Н. А.** Сопротивление сварного соединения малоуглеродистой стали малоцикловому нагружению в зависимости от свойств отдельных зон. — «Проблемы прочности», 1970, № 12, с. 25—33.
14. **Труфяков В. И., Гунца О. И., Дворецкий В. И.** Расчет на усталость сварных соединений, испытывающих нестационарный режим нагружения. — «Автоматическая сварка», 1969, № 12, с. 34—37.
15. **Труфяков В. И., Ковальчук В. С.** Изменение сопротивления усталости при двухчастотном нагружении. В кн.: «Прочность сварных соединений и конструкций при переменных нагрузках». Челябинск, изд-во Челябинского политехн. ин-та, с. 68—70.
16. **Труфяков В. И., Михеев П. П., Кузьменко А. З.** Влияние остаточных сварочных напряжений на развитие усталостных трещин в конструкционной стали. — «Автоматическая сварка», 1977, № 10, с. 6—7.
17. **Труфяков В. И.** Усталость сварных соединений. Киев, Наукова думка, 1973. 216 с.
18. **Школьник А. М.** Скорость роста трещин и живучесть металла. М., Металлургия, 1973. 215 с.
19. **Ярема С. Я., Микитишин С. П.** Аналитическое описание диаграммы усталостного разрушения материалов. — «Физико-химическая механика материалов», 1975, № 6, с. 47—54.
20. **Gurney T.** Fatigue of Welded Structures. — Cambridge University Press, 1968. 294 с.
21. **Manson S. S.** Complex subject some simpl approximations experimental mechanics, 1965, N 2, p. 28—36.
22. **Monograph** on Fatigue strength of Welds. — RSAES, Stockholm, 1969, p. 560.
23. **Paris P., Erdogan F.** Transactions ASME, ser D, 1963, vol. 85, № 4, с. 60—69.

Глава 5

ХЛАДОСТОЙКОСТЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ МЕТАЛЛОВ И СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Свойства низкоуглеродистых и низколегированных сталей, а также сварных соединений из них наиболее заметно изменяются при понижении температуры. При испытании гладких образцов из этих сталей пределы текучести, прочности и выносливости повышаются, а относительное удлинение и поперечное сужение понижаются. У других металлов, например алюминиевых и титановых сплавов, аустенитных сталей, эта тенденция выражена слабо и заметна лишь при весьма низких (криогенных) температурах.

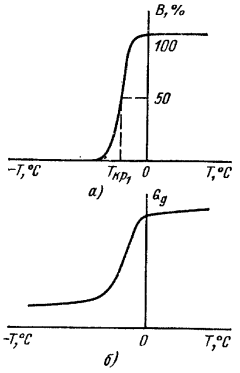


Рис. 1. Изменение площади разрушения с волокнистым характером разрушения (*а*) и работы разрушения металла при быстром динамическом распространении трещины (*б*) в зависимости от температуры испытания

Для служебных характеристик сварных соединений и элементов сварных конструкций решающим является их способность сопротивляться хрупким разрушениям. Поэтому вопросы хладостойкости принято рассматривать в тесной связи с хрупкостью металлов. При переходе от вязкого разрушения металла к хрупкому изменяются внешний вид поверхности излома, глубина пластически деформированного слоя металла от поверхности разрушения и как следствие работа пластической деформации металла. В некотором достаточно узком интервале температур, разном для разных металлов (рис. 1, *а*), доля площади B разрушения с волокнистым характером разрушения изменяется от 100% до нулевой величины, уступая место хрупкому кристаллическому излому, и понижается работа $G_д$ разрушения металла при быстром динамическом распространении трещины (рис. 1, *б*). Температуру, при которой поверхность разрушения имеет 50% хрупких участков и 50% вязких, принято называть первой критической температурой $T_{кр1}$ [5]. При испытании крупных образцов и динамическом приложении нагрузок $T_{кр1}$ несколько смещается вправо, а при испытании более мелких образцов и статическом приложении нагрузок — влево в область более низких температур. Смещение $T_{кр1}$ обычно невелико (в пределах 10—20° С). Положение $T_{кр1}$ зависит от химического состава, способа производства и термической обработки стали, а также других факторов. Чем $T_{кр1}$ стали ниже, тем более широко эту сталь можно применять для изготовления сварных конструкций различного назначения. Положение $T_{кр1}$ указывает лишь на область перехода от вязкого разрушения к хрупкому, но не характеризует количественно способность металла сопротивляться разрушению при быстром распространении трещины. Количественной характеристикой является величина $G_д$ кгс·м/см², Чем больше $G_д$, тем меньше вероятность разрушения,

Под влиянием процесса сварки за счет термического и пластического воздействий, например роста зерна, закалки, отпуска, деформационного старения, положение $T_{кр1}$ и величина $G_д$ для отдельных участков и зон сварного соединения изменяются. Накопление усталости за счет циклических нагружений в процессе эксплуатации также изменяет $T_{кр1}$ и $G_д$. Быстрое динамическое распространение трещины является предельно жестким условием испытания сопротивляемости металла разрушению. Практически всякому распространению трещины предшествуют ее зарождение или начало ее движения, если трещина существовала ранее. Имеется много характеристик свойств металла и сварных соединений, определяющих их сопротивляемость началу разрушения. Эти характеристики существенно сильнее, чем $G_д$ и $T_{кр1}$, зависят от размеров и формы образцов, концентрации напряжений, характера приложения нагрузки, влияния технологического процесса сварки и других причин. Они рассмотрены ниже.

Критическая температура хрупкости низкоуглеродистых сталей по сравнению с критической температурой низколегированных сталей, как правило, более высокая. Кипящие низкоуглеродистые стали уступают по хладостойкости полуспокойным и спокойным сталям, более склонны к деформационному старению. Наибольшей хладостойкостью обладают стали в закаленном высокоотпущенном состоянии, хладостойкость понижена у горячекатаных и отожженных сталей. С ростом зерна стали ее критическая температура хрупкости повышается. С увеличением толщины проката склонность к хладноломкости низкоуглеродистой стали также повышается.

ОЦЕНКА СВОЙСТВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Для оценки свойств сварных соединений и элементов сварных конструкций при пониженных температурах применяют многочисленные методы и критерии, в том числе и стандартизованные (ГОСТ 11150—75). Критерии и методы испытаний могут быть классифицированы по разным признакам. В частности, различают методы, с помощью которых определяется способность металла сопротивляться началу разрушения, и методы, с помощью которых оценивают свойства металла в процессе распространения трещины.

Критерии классифицируют также по роду регистрируемой величины, разделяя, например, их на критерии, связанные с напряжениями, деформацией, перемещением или затраченной энергией. В табл. 1 приведены основные характеристики, которые используют для оценки свойств основного металла и сварных соединений в связи с их хладостойкостью. Наиболее распространена оценка сварных соединений и элементов сварных конструкций по разрушающей силе $P_р$ (моменту) или среднему разрушающему напряжению $\sigma_р$. С их помощью можно выявить так называемую вторую критическую температуру $T_{кр2}$ (рис. 2) [5]. При $T_{кр2}$ среднее разрушающее напряжение испытываемого элемента становится равным пределу текучести металла $\sigma_т$ при соответствующей температуре.

Для сравнения на рис. 2 приведено изменение площади излома и положение $T_{кр1}$. Положение $T_{кр2}$ зависит от многих факторов. Чем выше концентрация напряжений, скорость приложения нагрузки, остаточные напряжения, уровень сварочной пластической деформации, содержание газов и вредных примесей в шве, скорость охлаждения при сварке, приводящая к закалке, крупнее зерно и больше сечение испытываемого элемента, а также хуже защита металла при сварке, тем правее располагается $T_{кр2}$, смещаясь в сторону положительных температур. При крайне неблагоприятных сочетаниях отрицательных факторов в ограниченной области сварного соединения свойства металла существенно ухудшаются. При этом $T_{кр2}$ может оказаться даже правее $T_{кр1}$. При небольших размерах такой зоны возникшая трещина, дойдя до основного металла, остановится. При крупных размерах такой зоны и большом запасе потенциальной энергии в конструкции

1. Основные критерии, используемые для оценки свойств основного металла и сварных соединений в связи с их хладостойкостью

Критерий	Условное обозначение
Силовые критерии	
Разрушающая сила или разрушающий момент	$P_р$, кгс; $M_р$, кгс · см
Среднее разрушающее напряжение	$\sigma_р$, кгс/мм²
Критический коэффициент интенсивности напряжений, определенный в условиях плоской деформации у конца трещины	K_{Ic}, кгс/мм$^{3/2}$
Критический коэффициент интенсивности напряжений	K_c, $\frac{\text{кгс}}{\text{мм}^{3/2}}$
Деформационные критерии	
Средняя разрушающая деформация	$\varepsilon_{ср.р}$
Критический коэффициент интенсивности деформаций	$V_р$, мм$^{1/2}$
Процент площади, занятой волокнистым изломом	B, %
Объем пластической деформации, приходящейся на 1 см² разрушенной поверхности	$\int \varepsilon_{пл} dy$, см
Кинематические критерии (критерии перемещений)	
Критическое раскрытие конца трещины: истинное	δ_c, мм
условное	Δ_c, мм
Взаимное перемещение катетов углового шва, достигаемое к моменту его разрушения	$\Delta_р$, мм
Энергетические критерии	
Работа: зарождения трещины полная	$A_з$, кгс · м
удельная	$a_з$, кгс · м/см²
распространения трещины: полная	$A_р$, кгс · м
удельная	$a_р$, кгс · м/см²
разрушения: полная	A, кгс · м
удельная	$a_н$, кгс · м/см²
пластической деформации у конца трещины, затрачиваемая на начало ее движения в условиях плоской деформации	G_{Ic}, кгс · мм/мм²
пластической деформации у конца трещины, затрачиваемая на начало ее движения	G_c, кгс · мм/мм²
пластической деформации, затрачиваемая на образование единицы поверхности трещины при быстром (динамическом) ее распространении	$G_д$, $\frac{\text{кгс} \cdot \text{мм}}{\text{мм}^2}$

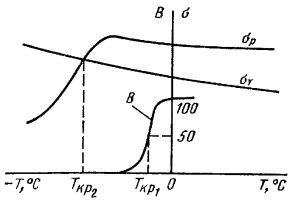


Рис. 2. Зависимость предела текучести $\sigma_т$, среднего разрушающего напряжения $\sigma_р$ и процента волокнистости излома B от температуры

разрушение может продолжаться по основному металлу и за пределами зоны с низкой сопротивляемостью разрушению. Такие случаи наблюдаются в газопроводах, крупных сосудах и резервуарах, корпусах кораблей и т. п. Преимуществом испытания для определения $\sigma_р$ является его простота. Недостаток состоит в том, что, проводя испытания конструктивного элемента при конкретной температуре T выше $T_{кр2}$ и получая коэффициент запаса прочности $n_{\sigma_т} = \frac{\sigma_р}{\sigma_т} > 1$, нельзя судить о запасе пластичности и о возможности наступления хрупкого разрушения. Это объясняется тем, что на диаграмме в координатах напряжение — средняя деформация $\varepsilon_{ср}$ в опасном сечении (рис. 3, *а*) при изменении концентрации напряжений, свойств металла и т. п. точка разрушения D смещается в основном по горизонтали, в то время как средняя разрушающая деформация $\varepsilon_{ср.р}$ изменяется существенно. Характеристика $\varepsilon_{ср.р}$ (см. табл. 1), которая относится к деформационным критериям и может быть использована для получения коэффициента запаса пластичности $n_{\varepsilon_т} = \frac{\varepsilon_{ср.р}}{\varepsilon_т} = \frac{\varepsilon_{ср.р} E}{\sigma_т}$, в данном случае более объективно показывает близость точки разрушения к линейному участку диаграммы OC (рис. 3, *а*), где происходят хрупкие разрушения. Недостаток характеристики $\varepsilon_{ср.р}$ состоит в трудности ее определения. Как правило, необходимо иметь решение задачи пластичности, чтобы, зарегистрировав во время испытания деформацию $\varepsilon_Б$ на какой-либо базе $Б$ в пределах ослабленного сечения (рис. 3, *б*), пересчитать ее затем в среднюю деформацию $\varepsilon_{ср}$.

Большое развитие получила механика разрушения. Одним из основных понятий в механике разрушения является коэффициент K интенсивности напряжений. Он характеризует напряженное состояние вблизи конца трещины, находящейся

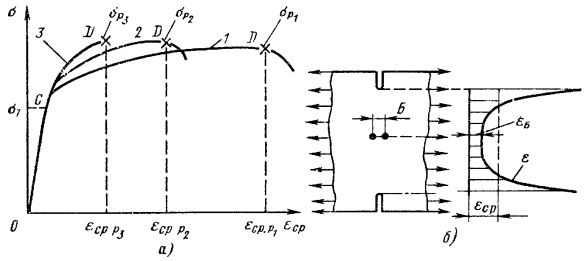


Рис. 3. Диаграммы зависимости среднего напряжения σ от средней деформации $\varepsilon_{ср}$ (*а*) и характер распределения деформации ε в ослабленном сечении (*б*)

в нагруженном элементе. В момент начала продвижения конца трещины при механических испытаниях материала регистрируется критический коэффициент интенсивности напряжений K_{Ic} или K_c, который является характеристикой материала и служит для оценки его способности сопротивляться началу движения трещины при статической или ударной нагрузке в зависимости от условий проведения испытаний.

Механика разрушения накладывает определенные ограничения на условия проведения испытаний металлов; в частности, необходимо, чтобы средние разрушающие напряжения не превосходили напряжений, несколько меньших предела текучести при температуре испытания. Если это условие не выполняется, необходимо увеличивать размеры образцов, чтобы повысить коэффициент концентрации напряжений. Для высокопрочных металлов с пределом текучести более 100 кгс/мм², а также при температурах ниже $T_{кр1}$, при которых малопрочные металлы разрушаются хрупко и имеют невысокие K_{Ic}, затруднений с проведением испытаний не возникает, так как образцы оказываются умеренных размеров. Критерии K_c и K_{Ic} в этих случаях можно использовать для определения свойств металла шва и околошовных зон, а также и основного металла. При подходе к $T_{кр1}$ слева и выше $T_{кр1}$ величины K_c и K_{Ic} резко возрастают, указывая на высокую сопротивляемость металла разрушению. В этом случае необходимы крупные образцы для получения точного количественного результата. Если сварную конструкцию изготовляют из проката определенной толщины, то получить сварные соединения большей толщины либо невозможно, либо нецелесообразно вследствие изменения условий сварки. Поэтому определяют условные характеристики при использовании образцов уменьшенных размеров. Один из путей состоит в сле-

дующем. Условия, соответствующие плоской деформации, при значительных пластических деформациях удовлетворяются выбором толщины металла b в 2,5 раза больше размера W непрорезанной части образца (рис. 4, *а*). В процессе испытания записывается, как обычно, диаграмма $P = f(\Delta)$ или $P = f(\theta)$ (рис. 4, *б*), где Δ — перемещение точек C и D относительно друг друга; θ — угловой поворот одной половины образца относительно другой, зависящий только от ослабления сечения надрезом, т. е. не включающий в себя деформации частей образца, удаленных от надреза. По известным в механике разрушения формулам на линейном участке OE диаграммы подсчитывают коэффициент K интенсивности напряжений как линейную функцию от Δ или θ, т. е. $K = a\Delta$, а затем коэффициент пропорциональности a используют для приближенного определения условного критического коэффициента интенсивности напряжений:

$$K_{Ic.\,усл} = a\Delta_c. \qquad (1)$$

Графически это можно представить как экстраполяцию линейной зависимости до некоторой условной точки $P_{с.\,усл}$ (см. рис. 4, *б*). Точка N на диаграмме — точка действительного разрушения образца. На основе численных расчетов в пластической области установлено, что такой процедурой получения $K_{Ic.\,усл}$ можно пользоваться, если разрушение образца произошло до образо-

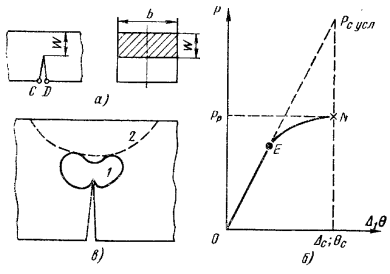


Рис. 4. Схемы испытания образцов, обеспечивающих плоскую деформацию при изгибе:

а — форма образца; *б* — диаграмма зависимости P от Δ и θ; *в* — расположение зон пластических деформаций *1* и *2*

вания пластического шарнира в ослабленном сечении, что соответствует встрече зоны *1* пластических деформаций, распространяющейся от конца трещины, с зоной *2* пластических деформаций, распространяющейся от тыльной гладкой стороны образца (рис. 4, *в*).

Для определения K_{Ic} металла шва, с учетом его сопротивляемости разрушению от непровара, целесообразно использовать естественный непровар как концентратор, заменяющий надрез (см. рис. 4, *а*).

Сварные соединения часто имеют концентраторы, радиус закругления дна которых может не быть нулевым, как это принимают для трещин (рис. 5). Это места переходов от шва к основному металлу в стыковых (рис. 5, *а*) и угловых (рис. 5, *б* и *в*) швах, места сопряжений с фасонками (рис. 5, *г*) или в некоторых случаях места непровара с плавным радиусом. Сопротивляемость разрушению сечений с такими концентраторами целесообразно характеризовать средней разрушающей деформацией $\varepsilon_{ср.\,р}$, а саму зону концентратора — критическим коэффициентом интенсивности деформаций $V_р$ [3]. Критический коэффициент интенсивности деформаций зависит как от свойств металла вблизи концентратора, в частности, от разрушающей максимальной деформации $\varepsilon_{max\,р}$, так и от радиуса концентратора r. Процедура испытаний для экспериментального определения $V_р$ и требования к образцам изложены в работе [3].

В случае трещины, расположенной в растянутой бесконечной пластине,

$$K = \frac{\sqrt{\pi}\,VE}{2}, \qquad (2)$$

где E — модуль упругости.

Стремление получить сведения о сопротивляемости металла разрушению на небольших образцах, не обращаясь к требованиям механики разрушения в части определения K_{Ic} и K_c, привело к разработке кинематического критерия (критерия перемещения) δ_c [8]. Первоначально концепция критического раскрытия δ_c разрабатывалась на узких надрезах и предусматривала непосредственное определение раскрытия конца надреза путем его измерения лопаточным датчиком, установленным на дно надреза. Вычитая из конечной ширины надреза $b_к$ в момент начала

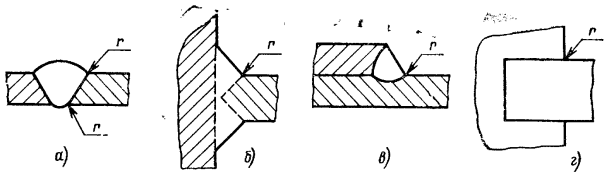


Рис. 5. Сварные соединения:

а — стыковые; *б*, *в* — с угловыми швами; *г* — с фасонкой

разрушения начальную величину $b_н$, можно было определить $\delta_c = b_к - b_н$ (рис. 6, *а*). Переход от надрезов к трещинам сделал невозможным непосредственное определение истинного критического раскрытия δ_c, и оно было фактически заменено условной величиной перемещения Δ_c (рис. 6, *б*), определяемого как сумма пластических деформаций $\varepsilon_{пл}$ напротив дна надреза или трещины в сечении A—A (рис. 6, *а*).

Нахлесточные соединения с угловыми швами, а в некоторых случаях и тавровые соединения имеют непровар (рис. 7), который при низких температурах может оказаться опасным концентратором. По аналогии с критерием Δ_c для оценки

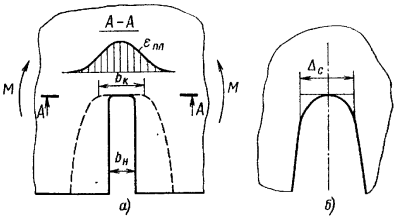


Рис. 6. Изменение контура надреза (*а*) и трещины (*б*) после протекания пластической деформации

пластичности угловых швов можно применять критерий $\Delta_р$, означающий перемещение точек C и D, которое достигается к моменту разрушения углового шва [7]. В зависимости от схемы действия сил P_I, P_{II} или P_{III} на рис. 7, *а* следует различать $\Delta_р$ для таврового (*I*), лобового (*II*) и флангового (*III*) швов. При произвольном положении вектора силы целесообразно определять $\Delta_р$ в направлении действия силы. Критерий $\Delta_р$ можно использовать для определения запаса пластичности углового шва или для сравнительной оценки между собой свойств наплавленного металла, рациональности режимов сварки или термической обработки.

Большое значение для оценки свойств сварных соединений и основного металла имеют энергетические критерии (см. табл. 1). Следует различать методы количественного определения характеристик, которые дают результаты, зависящие от размеров и формы образцов ($a_з$, $a_р$, $a_н$), и такие, которые позволяют получать ре-

зультаты, зависящие только от свойств металла (G_{Ic}, G_c, $G_д$). Для определения свойств металла околошовных зон и шва широко применяют испытания на ударный и статический изгиб призматических образцов размером 10 × 10 × 55 мм с записью и без записи диаграмм P (сила) — f (прогиб образца). Диаграмма (рис. 8, *а*) имеет линейный упругий участок OA, участок изгиба образца AB до появления в надрезе трещины или до начала ее движения, если трещина создана заранее, и участок BC, если трещина распространяется по поперечному сечению образца.

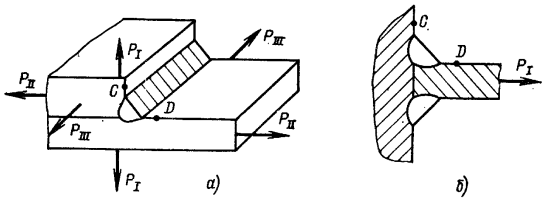


Рис. 7. Схемы действия сил P_I, P_{II}, P_{III} на нахлесточное (*а*) и тавровое (*б*) соединения

Площадь фигуры $OABD$ представляет собой работу пластической деформации образца на стадии до начала движения трещины, площадь DBE — накопленную (в основном в образце) энергию упругой деформации, площадь $DBCF$ является работой пластической деформации образца во время продвижения трещины. При хрупком распространении трещины (рис. 8, *б*) удается определить только работу пластической деформации изгиба — площадь $OABD$. Вертикальный участок диаграммы по линии BE указывает лишь на то, что работа, истраченная на распространение трещины, меньше величины энергии упругой деформации, выражаемой площадью DBE, но какова она в действительности, установить невозможно.

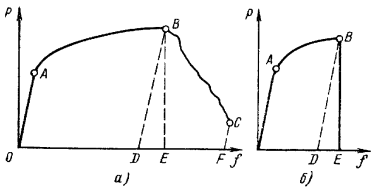


Рис. 8. Характер диаграмм P — f при вязком (*а*) и хрупком (*б*) распространении трещины

Попытки разделить полную работу разрушения образца на ее составляющие привели к разработке нескольких методов [2]. Один из методов заключается в усилении остроты надреза вплоть до предварительного создания трещины в образце, чтобы максимально уменьшить площадь $OABD$ и считать ее практически равной нулю. Тогда при копровых испытаниях вся работа разрушения образца может быть принята как работа распространения трещины. Существуют методы, в которых испытывается серия образцов с разными радиусами надреза или испытания проводятся с последовательным увеличением энергии маятника с тем, чтобы путем построения диаграмм разделить работу на две составляющие $A_з$ и $A_р$ [2]. Следует, однако, признать, что достаточно правильно определить работу распространения трещины на маленьких образцах с поперечным сечением 10 × 10 мм невозможно

по следующим причинам. При хрупких разрушениях образцов эти методы неточны, а при вязких размер зоны пластических деформаций в реальном конструктивном элементе может превосходить в несколько раз размер зоны пластических деформаций в образце. Указанные методы пригодны для сравнительных испытаний металлов и качественной оценки изменения свойств в зависимости от температуры.

Наиболее правильные принципы определения работы разрушения металла устанавливает механика разрушения. Она различает работу G_{Ic} и G_c, затрачиваемую на начало движения трещины, и работу $G_д$ динамического (быстрого) распространения трещины. В обоих случаях размер образца должен быть таким, чтобы зона пластических деформаций у конца трещины соответствовала размеру зоны в натуральном массиве металла или в листе больших размеров. Если в листовом элементе при его разрушении не создаются условия плоской деформации, то получают работу G_c, а если толщина листа велика по сравнению с размером зоны пластических деформаций и обеспечиваются условия плоской деформации, то получают работу G_{Ic}. Обычно

$$G_c = K^2_c/E; \qquad (3)$$

$$G_{Ic} = (1-\mu^2)\frac{K^2_{Ic}}{E}. \qquad (4)$$

Сопротивляемость металла быстрому динамическому распространению трещины количественно может быть оценена по работе $G_д$ или объему пластической деформации $\int \varepsilon_{пл}\,dy$ (см. табл. 1). Для определения $G_д$ может быть использован метод тепловой волны [2], а для вычисления $\int \varepsilon_{пл}\,dy$ необходимо располагать распределением пластических деформаций вблизи границы разрушения (рис. 9), найденным, например, рентгеновским методом. Существуют также другие разнообразные методы качественного определения хладостойкости сварных соединений и элементов конструкций [2].

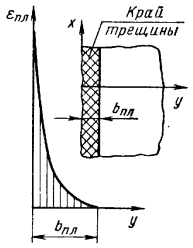


Рис. 9. Распределение пластических деформаций от края трещины в глубину металла

Современные способы сварки и применяемые сварочные материалы обеспечивают получение наплавленного металла, не уступающего по хладостойкости основному металлу аналогичного химического состава, а в некоторых случаях даже превосходящего по своим свойствам основной металл. Однако при сварке имеется ряд факторов, таких как условия производства сварочных работ, качество сварочных материалов, защита расплавленного металла, термомеханическое воздействие сварки на металл, геометрическая форма соединений и другие, недостаточное внимание к которым может привести к резкому ухудшению свойств металла и снижению хладостойкости сварных конструкций. Практически все случаи хрупких разрушений сварных соединений и конструкций, имевших место при низких температурах, связаны либо с низким качеством исходного основного металла, либо с нарушением правил технологии производства сварных конструкций и конструктивного оформления сварных узлов.

Влияние сварки на свойства сварных соединений, эксплуатируемых при низких температурах, многообразно, оно может изменяться в широких пределах и поэтому в большинстве случаев не поддается конкретному количественному выражению. Характерным является также то, что изменения свойств носят местный, локальный характер.

Наиболее распространены несколько случаев отрицательного влияния сварки.

1. Образование хрупких зон в сварных швах под влиянием изменения химического состава металла шва по сравнению с основным металлом за счет нерационального легирования или загрязнения металла вредными примесями и газами,

2. Образование хрупких при низких температурах околошовных зон за счет термического влияния сварки — быстрого охлаждения, роста зерна, структурных изменений. Степень этого влияния решающим образом зависит от химического состава основного металла, способа его производства и исходного состояния. Например, на хладноломкость металла в зоне крупного зерна электрошлаковых соединений влияние оказывают степень раскисленности, содержание фосфора и серы, способ получения заготовки (ковка, литье); на хладноломкость околошовных зон термоупрочненных катаных сталей при электродуговой сварке — величина погонной энергии сварки.

3. Концентрация пластических деформаций и деформационное старение металла в зонах непровара и резкого изменения формы соединений, трещинах и т. п., находящихся в пределах зоны термического влияния сварки. Данный случай является наиболее распространенной причиной хрупких разрушений сварных соединений при низких температурах; он многократно воспроизводился в лабораторных условиях. Путем роста концентрации деформаций и эффекта старения можно вызвать практически любое снижение прочности сталей при низких температурах. Деформационное старение усиливается, если оно происходит в зоне крупного зерна.

По количеству хрупких разрушений, зарегистрированных в сварных конструкциях при низких температурах, на первом месте находятся разрушения, возникшие от концентраторов, расположенных в зоне сварки, где протекали значительные пластические деформации, возникали остаточные растягивающие напряжения и происходило старение металла. Значительная часть хрупких разрушений была вызвана усталостными трещинами, явившимися разультатом неудовлетворительного конструктивного оформления соединений, в сочетании с низкой сопротивляемостью основного металла распространению хрупких разрушений. Некоторая часть разрушений зарегистрирована как возникшая от участков металла с низкими пластическими свойствами по причине загрязнения металла и его плохой защиты в нагретом состоянии.

В статически нагруженных объектах разрушения появлялись преимущественно при резком понижении температуры, когда вследствие неодновременного охлаждения конструкции возникали дополнительные напряжения.

Распространение разрушений за пределы зон пластических деформаций, где влияние сварки практически отсутствовало, происходило обычно вследствие низких механических свойств основного металла (например, хрупкости) и не зависело от условий сварки. На рис. 10, *а—г* показаны элементы, которые соединялись, не будучи сваренными между собой.

Типичные примеры неудовлетворительного оформления сварных соединений, которые неоднократно являлись очагами разрушений при низких температурах, представлены на рис. 10. На рис. 10, *д—ж*, *к* стыковые соединения имеют непровар; на рис. 10, *з* окно, образованное газовой резкой, имеет острый угол; на рис. 10, *л* электрошлаковый шов *1* заваривается последним, находясь в жестком контуре; на рис. 10, *и* процесс сварки остановлен на детали.

Предупреждение хрупких разрушений сварных соединений и конструкций при низких температурах может быть осуществлено устранением причин, их вызывающих. Существует несколько основных путей повышения сопротивляемости хрупким разрушениям.

1. Выбор основного металла для сварных конструкций, обладающих малой склонностью к деформационному старению и достаточно высокой сопротивляемостью распространению разрушений при температурах эксплуатации изделия. Развитие разрушения при использовании основного металла с высокой энергией разрушения при распространении в нем трещины возможно лишь при дефектах или зонах повреждения металла большой протяженности (например, в продольных швах трубопроводов). В большинстве сварных конструкций изменения, вызываемые сваркой, носят локальный характер, ввиду чего начавшееся разрушение не будет распространяться по основному металлу. Такой путь оправдан в конструкциях, где невозможно обеспечить полное отсутствие дефектов сварки. Закалка и отпуск основного металла являются эффективным средством повышения

энергии разрушения сталей при низких температурах. Частным случаем является применение пакета листов из более тонкого металла, обеспечивающего высокое сопротивление распространению трещин.

2. Нормализация или закалка с отпуском сварных деталей. Такие операции не только устраняют отрицательные последствия влияния сварки на структуру металла в зоне сварных соединений, но и улучшают свойства основного металла.

3. Применение высокого отпуска. Высокий отпуск является эффективным средством, позволяющим восстановить пластические свойства металла, утраченные в результате протекания пластических деформаций и старения металла в концентраторах. Одновременно общий высокий отпуск значительно снижает остаточные напряжения и накопленную потенциальную энергию при сварке. Местный отпуск применяют главным образом как средство восстановления пластичности металла.

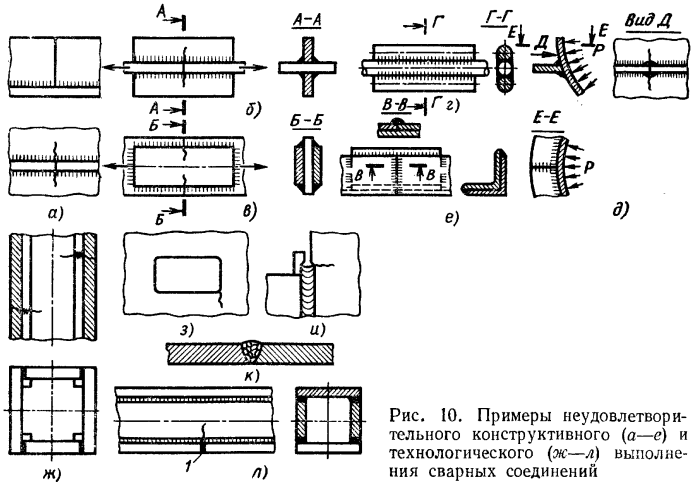


Рис. 10. Примеры неудовлетворительного конструктивного (*а—е*) и технологического (*ж—л*) выполнения сварных соединений

4. Конструктивное оформление отдельных элементов, уменьшающее как концентрацию собственных деформаций в процессе сварки, так и концентрацию рабочих напряжений в процессе эксплуатации конструкции.

5. Назначение последовательности сборочно-сварочных операций и технологических приемов выполнения сварных соединений, исключающих резкие концентраторы напряжений в зоне пластических деформаций, в том числе дефекты в виде непроваров, трещин, несплавлений, подрезов и т. п.

6. Применение присадочных металлов, обеспечивающих высокую пластичность и вязкость металла швов при низких температурах.

7. Использование рациональных режимов сварки, исключающих появление зон с пониженными механическими свойствами при низких температурах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Браун У., Сроули Д.** Испытания высокопрочных металлических материалов на вязкость разрушения при плоской деформации. М., Мир, 1972. 246 с.
2. **Винокуров В. А.** Учебное пособие по курсу «Специальные главы прочности сварных конструкций». МВТУ им. Баумана, 1973. 110 с.
3. **Винокуров В. А., Трегубов Г. П.** Метод испытания образцов на изгиб для определения пластичности. — «Заводская лаборатория», 1975, № 12. 1497—1500 с.
4. **Качанов Л. М.** Основы механики разрушения. М., Наука, 1974. 312 с.
5. **Махутов Н. А.** Сопротивление элементов конструкций хрупкому разрушению. М., Машиностроение, 1973. 200 с.
6. **Партон В. З., Морозов Е. М.** Механика упругопластического разрушения. М., Наука, 1974. 416 с.
7. **Разработка** методики исследования статической прочности и пластичности сварных соединений металлов при низких температурах. В. А. Винокуров, С. М. Исаев, В. А. Парахин и др. Кн.: — Остаточные напряжения и прочность сварных соединений и конструкций. № 133. М., Машиностроение, 1969. с. 57—72.
8. **Хрупкие** разрушения сварных конструкций. У. Дж. Холл, Х. Кихара, В. Зут, А. А. Уэллс. М., Машиностроение, 1974. 320 с.
9. **Черепанов Г. П.** Механика хрупкого разрушения. М., Наука, 1974. 640 с.

Глава 6

ЖАРОПРОЧНОСТЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

СВОЙСТВА ОСНОВНОГО МЕТАЛЛА

Жаропрочность, определяющая способность материалов сопротивляться воздействию нагрузки при высоких температурах, является комплексной характеристикой, зависящей от стабильности их свойств при высокотемпературной выдержке, сопротивления ползучести, длительной прочности, пластичности, термической усталости и других факторов.

Из промышленных металлов и их сплавов наименьшую жаропрочность имеют сплавы алюминия (до 250° С), а наибольшую (до 1000° С) — сплавы молибдена. Сплавы титана можно использовать до 400—450° С, перлитные стали — до 500—580° С, аустенитные — до 650—700° С, а сплавы на кобальтовой и никелевой основе — до 800—900° С. Применяя композитные материалы, можно поднять рабочую температуру до 1100—1200° С.

В первом приближении металлы можно сравнивать, используя понятие гомологической температуры, определяемой как $\alpha = \frac{T}{T_{пл}}$, где T и $T_{пл}$ — температуры испытания и плавления, выраженные в градусах абсолютной шкалы. При $\alpha \leqslant 0{,}3$—$0{,}4$ развитие пластической деформации, определяющее разрушение металла и осуществляемое движением и размножением дислокаций, приводит к деформационному упрочнению (наклепу) и возрастанию сопротивления ее развития. Это упрочнение стабильно во времени, и поэтому свойства, полученные по результатам кратковременных механических испытаний, справедливы и для длительного нагружения металла конструкции в эксплуатации. Так как пластическая деформация локализуется скольжением внутри зерен, то разрушение носит внутризеренный характер и для большинства конструкционных материалов сопровождается заметной деформацией при разрыве.

С ростом температуры повышается тепловая энергия колебания атомов и снижается прочность межатомных связей, что приводит и к снижению прочности металлов. Его интенсивность зависит от вида металла и его сплавов. Прочность низкоуглеродистой стали с 400° С резко снижается и при 600° С становится весьма малой (рис. 1, *а*). Легирование перлитных сталей в первую очередь хромом, молибденом и ванадием несколько повышает их прочностные характеристики, делая возможной длительную эксплуатацию до 550—580° С. Повышение прочности в интервале 500—600° С аустенитной хромоникелевой стали связано с изменением структурного состояния (рис. 1, *б*). В интервале 650—850° С наиболее эффективно использовать жаропрочные сплавы на никелевой основе (рис. 1, *в*).

С ростом температуры увеличивается интенсивность диффузионных процессов в металле, что делает его наклепанное состояние нестабильным и приводит к разупрочнению и восстановлению исходных свойств. В зависимости от температуры последнее может осуществляться механизмами возврата и рекристаллизации. При возврате восстановление свойств не сопровождается видимыми изменениями структуры металла; при рекристаллизации оно связано с образованием новых недеформированных зерен. Процессы возврата проходят при средних гомологических температурах (0,25—0,5 $T_{пл}$), что соответствует уровню рабочих температур высокотемпературных установок. Рекристаллизация развивается при более высоких температурах (0,4—0,8 $T_{пл}$) и сопровождается резким снижением прочности металла. Поэтому верхняя температурная граница эффективного при-

менения того или иного материала расположена ниже температуры его рекристаллизации.

Развитие процессов возврата приводит к влиянию скорости нагружения на свойства металла, проявляющемуся в снижении его прочности с уменьшением скорости деформации и изменении пластичности [1, 10, 11]. Оно обусловливает также процесс ползучести — способность материала непрерывно деформироваться (ползти) под действием постоянной нагрузки. Процессом, родственным ползучести, является релаксация, приводящая к переходу упругой деформации в пластическую при условии постоянства суммарной деформации нагруженного элемента. В крепежных элементах релаксация приводит к ослаблению затяжки болтов. В сварных конструкциях развитие процесса релаксации определяет эффективность снятия сварочных напряжений при термической обработке [3].

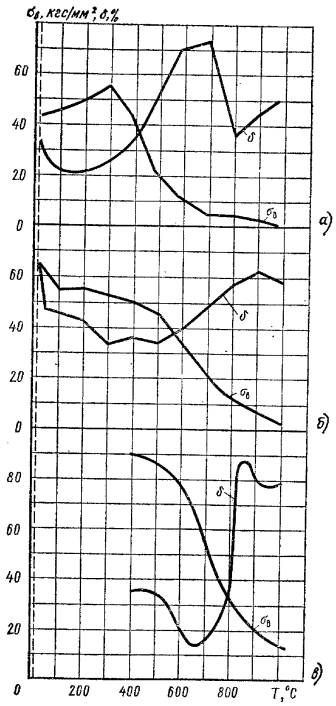


Рис. 1. Механические свойства сталей и сплава на никелевой основе при высоких температурах:

а — сталь 15; *б* — сталь 08Х18Н10; *в* — сплав ХН80ТБЮ

Протекание процесса высокотемпературной ползучести во времени приводит к исчерпанию деформационной способности и разрушению материала, закономерности поведения которого определяются зависимостями длительной прочности и пластичности. При их определении широко используют предложенную А. В. Станюковичем степенную зависимость типа $t = B\sigma^{-m}$, где t — время до разрушения; B и m — постоянные.

На рис. 2 эта зависимость выражена в виде наклонной прямой, что позволяет приближенно экстраполировать результаты относительно кратковременных испытаний на длительный срок службы. Для получения достоверных данных такой экстраполяции максимальная длительность испытаний должна быть не менее чем на порядок меньше расчетного срока службы. Для стационарных энергетических установок при сроке службы 10^5 длительность испытаний должна быть не менее 10^4 ч.

Основной расчетной характеристикой прочности металла и сварных соединений при высоких температурах является предел длительной прочности $\sigma_{дп}$, соответствующий напряжению, вызывающему разрушение при данной температуре за расчетный срок службы (обычно 10^5—$2 \cdot 10^5$ ч для стационарных и 10^2, 10^3 и 10^4 ч для транспортных установок).

Длительность высокотемпературных испытаний можно сократить, используя параметрические зависимости типа показанной на рис. 3 [4]. Для ее построения необходимо иметь результаты нескольких относительно кратковременных испытаний на длительную прочность при рабочей температуре и температурах на 50—100° С выше ее. Подобная параметрическая обработка позволяет приближенно оценить предел длительной прочности за заданный срок службы в определенном интервале температур. В верхней части рисунка приведено дополнительное построение для определения температуры и длительности работы.

С повышением температуры и длительности испытания (см. рис. 2) наблюдается перегиб кривых длительной прочности, связанный с переходом от вязкого внутризеренного к хрупкому межзеренному излому. Этот переход приводит не только к снижению длительной прочности. Он обусловливает также повышенную вероятность преждевременных хрупких разрушений конструкций, особенно при наличии в них концентраторов напряжений. В связи с этим необходимо знать закономерности изменения длительной пластичности и условия, приводящие к ее снижению.

Изменение длительной пластичности со временем и температурой подчиняется определенным закономерностям, наиболее полно выявляемым в условиях

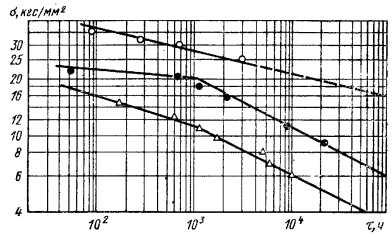


Рис. 2. Длительная прочность металла шва, наплавленного электродами типа Э-09Х1МФ (марки ЦЛ-20М). Температура испытания: ○ — 500°С; ● — 565°С; △ — 600°С

испытаний с постоянной скоростью деформации [10]. При относительно низких температурах T_1 (рис. 4, *а*) и прохождении внутрикристаллического разрушения пластичность с уменьшением скорости деформации v (с увеличением длительности работы) меняется сравнительно мало. С повышением температуры до T_2 и уменьшением скорости деформации наблюдается переход к межзеренному излому, сопровождаемый снижением пластичности до определенного значения.

В координатах $\lg \delta - T$ зависимости изменения пластичности имеют вид V-образных кривых с минимумом, смещающимся в область более низких температур с уменьшением скорости деформации (рис. 4, *б*). Провалы пластичности обычно наблюдаются в интервале рабочих температур и поэтому должны учитываться при анализе работоспособности изделий. Пластичность перлитных сталей заметно падает в интервале 500—600° С, аустенитных сталей при 550—650° С и сплавов на никелевой основе при 600—750° С. С повышением легирования и прочности стали или сплава, ростом зерна и при наклепе снижение пластичности в температурном интервале хрупкости становится все более заметным. Пластичность резко уменьшается при наличии концентраторов напряжений, что можно оценить по результатам испытания образцов с надрезом. Для сварных соединений, в связи с практической невозможностью исключения в них концентраторов, закономерности изменения длительной пластичности необходимо изучать особо тщательно.

На жаропрочность металлов влияют их структурное состояние и его стабильность во времени. Аустенитные стали с гранецентрированной кубической решеткой, обладая более высокой температурой рекристаллизации, чем перлитные стали с объемноцентрированной решеткой, можно применять как жаропрочные материалы при температурах на 100—120° С выше.

Для металлов, предназначенных к использованию при высоких температурах, характерны два вида структурного упрочнения: 1) образование твердого раствора с введением элементов, повышающих температуру рекристаллизации

и снижающих интенсивность диффузионных процессов в сплаве; 2) получение высокодисперсной смеси фаз путем закалки многокомпонентного сплава и последующего отпуска. Для промышленных металлов характерно одновременное использование упрочнения обоих видов. Его стабильность во времени, определяемая степенью развития процесса коагуляции упрочняющихся фаз, оценивается по результатам испытания образцов после старения разной длительности при высоких температурах.

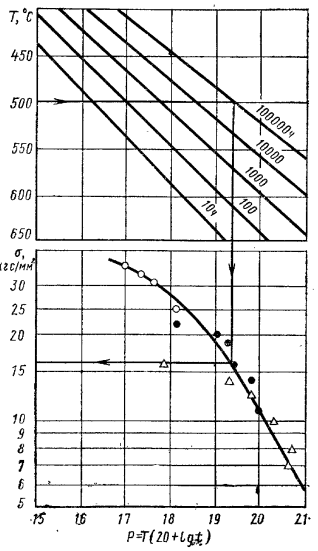


Рис. 3. Параметрическая зависимость длительной прочности металла шва, наплавленного электродом типа Э-09Х1МФ (обозначения точек см. рис. 2)

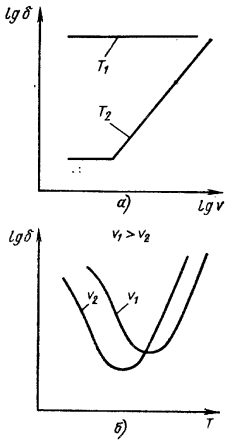


Рис. 4. Изменение длительной пластичности при высоких температурах:

а — удлинение — скорость деформации; *б* — удлинение — температура

Многие ответственные высокотемпературные конструкции работают в условиях повторного или малоциклового нагружения при переменных температурах и сложном напряженном состоянии. При оценке их прочности и ресурса работы необходимо учитывать накопление повреждаемости по двум механизмам: ползучести и усталости. Примерами малоциклового повреждения сварных узлов являются разрушения штуцерных соединений труб с коллекторами котлов, мест приварки ранжирующих элементов к трубам.

СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Требуемые свойства металла и сварных соединений для высокотемпературных установок зависят от условий их эксплуатации. Для большинства из них основными являются показатели стабильности свойств и длительной прочности и пластичности, определяющие вероятность разрушения данного узла за срок

его работы. Для отдельных конструкций, например камер сгорания газовых турбин, определяющими являются показатели жаростойкости металла. Работоспособность узлов, подвергаемых большому числу теплосмен, будет зависеть прежде всего от их сопротивления усталости. Для узлов химических аппаратов кроме жаропрочности должна оцениваться и коррозионная стойкость сварных соединений.

Прочность и пластичность. При высоких температурах изменение структуры и свойств отдельных зон соединения, обусловленное сваркой, проявляется заметнее, чем при нормальной температуре. Из-за нестабильности структурного состояния этих зон интенсивность развития в них диффузионных процессов, определяющих степень разупрочнения сварного соединения, будет выше по сравнению с основным металлом, что приводит, как правило, к дополнительному снижению прочности и пластичности.

Механические свойства металла шва (рис. 5) при высоких температурах, как и при температуре 20° С, зависят от термического режима сварки, жесткости соединения и термической обработки. С повышением жесткости соединения, например при переходе от наплавки на кромку к сварке многослойного стыкового шва, прочность шва в исходном состоянии, обусловленная его высокотемпературным наклепом при воздействии термодеформационного цикла сварки, заметно возрастает. Пластические свойства (штриховые кривые) аустенитных швов разного исполнения меняются сравнительно мало; для перлитных швов характерно более за-

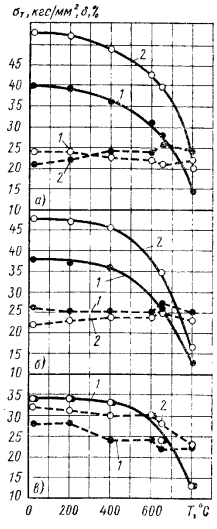


Рис. 5. Механические свойства металла шва, наплавленного электродом типа Э-27Х15Н35В3Г2Б2Т при высоких температурах (*1* — наплавка на кромку; *2* — стыковой шов):

а — исходное состояние; *б* — стабилизация при 900° С, 10 ч + при 700° С, 35 ч; *в* — аустенизация и стабилизация при 1100° С, 1 ч + при 900° С, 10 ч + при 700° С, 35 ч

метное снижение пластичности с повышением жесткости соединения. Кратковременная прочность многослойных стыковых швов обычно выше прочности близкого по легированию основного металла. Их большая прочность сохраняется до температур интенсивного разупрочнения, что в условиях типовых скоростей деформирования при испытаниях составляет около 600—650° С для перлитных сталей и 700—750° С для аустенитных.

Бо́льшая прочность сварных швов за счет их развитой субструктуры по сравнению с основным металлом сохраняется и после термической обработки по режиму отпуска для перлитных и стабилизации для аустенитных сталей (рис. 5, *б*). Снижение и выравнивание свойств металла швов разных условий выполнения обеспечивается лишь после полной термической обработки — нормализации с отпуском для перлитных и аустенизации со стабилизацией для аустенитных (рис. 5, *в*), снимающей эффект наклепа.

Выявленные закономерности изменения при высоких температурах механических свойств сварных швов справедливы и для их длительной прочности и пластичности. При относительно умеренных температурах и внутризеренном характере разрушения длительная прочность швов несколько выше прочности основного металла близкого легирования, а пластичность может быть несколько меньше.

Для сварных швов характерен больший разброс точек при испытаниях, что обусловлено нестабильностью их структуры и наличием наклепа. При повышении температуры до значения, являющегося переходным в отношении появления межзеренных трещин (565° С для шва; рис. 2), этот переход у металла шва осуществляется раньше, чем у основного металла. На стадии межзеренного разрушения (при большой продолжительности испытания) длительная прочность шва, наплавленного электродом типа Э-09Х1МФ, будет уступать прочности близкой по легированию стали марки 12Х1МФ. Пластичность шва при межзеренном разрушении будет снижаться больше, чем пластичность основного металла. Подобные закономерности справедливы для сварных швов в исходном и отпущенном (стабилизированном) состояниях после сварки (рис. 6). Так, металл шва, наплавленного

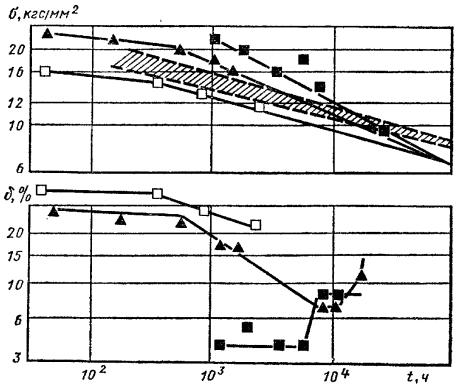


Рис. 6. Влияние термической обработки на длительную прочность и пластичность при 565° С металла стыкового сварного шва, наплавленного электродом типа Э-09Х1МФ:

■ — исходное состояние; ▲ — отпуск при 730° С, 5 ч; □ — нормализация при 980° С, 1 ч + отпуск при 730° С, 5 ч

электродом типа Э-09Х1МФ, при 565° С в исходном и отпущенном состояниях при длительности испытания до 10^4 ч по прочности превосходит основной металл; в дальнейшем его прочность становится ниже прочности основного металла. В состоянии нормализации и отпуска металл шва при испытании малой длительности менее прочен, чем сталь и швы в двух первых состояниях. Резкое уменьшение его прочности связано со снятием эффекта наклепа при нормализации, а также обусловлено меньшим содержанием углерода в шве по сравнению с основным металлом (заштрихованная область). С повышением длительности испытания наблюдается сближение длительной прочности швов, подвергнутых отпуску и нормализации с отпуском.

Швы в исходном состоянии имеют повышенный разброс точек на кривой длительной прочности и низкую пластичность при сравнительно малом времени до разрушения. При увеличении длительности испытания пластичности в исходном и отпущенном состояниях близки. Наибольшую длительную пластичность имеют швы после полной термической обработки.

Для некоторых сварных узлов, например труб большого диаметра из легированных сталей с продольным швом, полная термическая обработка после сварки является обязательной по требованию калибровки сваренных труб. В таких слу-

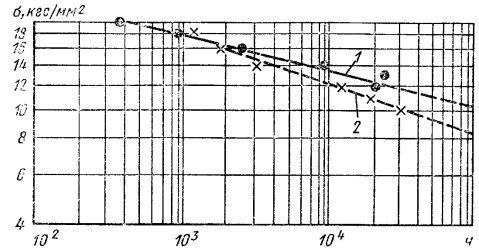


Рис. 7. Длительная прочность сварных соединений стали 15Х1М1Ф при 540° С в состоянии нормализации с последующим отпуском; швы:

1 — однослойный, полученный электрошлаковой сваркой; *2* — многослойный, полученный автоматической сваркой под флюсом

чаях, например для толстостенных труб из теплоустойчивых перлитных или высокохромистых мартенситных сталей, можно рекомендовать электрошлаковую сварку. Из-за большого проплавления свариваемых кромок при использовании тех же проволок содержание углерода в шве, полученном электрошлаковой

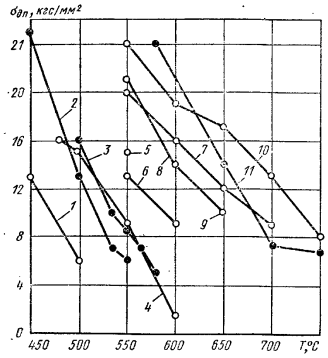


Рис. 8. Пределы длительной прочности металла сварных швов, наплавленных электродами различных типов за 10^5 ч:

1 — Э50А; *2* — Э-09Х1М; *3* — 09Х1МФ; *4* — Э-12Х13; *5* — Э-12Х11НМФ; *6* — Э-07Х20Н9; *7* — Э-08Х19Н10Г2Б; *8* — Э-07Х19Н11М3Г2Ф; *9* — Э-11Х15Н25М6АГ2; *10* — Э-27Х15Н3БВ3Г2Б2Т; *11* — Э-08Х14Н65М5В4Г2

сваркой, будет близким к содержанию углерода в основном металле, что уравняет их свойства. Использование электрошлаковой сварки вместо многослойной автоматической сварки под флюсом применением одной и той же проволоки марки СВ-08ХМФА для изготовления труб ⌀ 980 × 40 мм из теплоустойчивой стали 15Х1М1Ф, повысило длительную прочность сварных соединений и снизило вероятность разрушений по шву (рис. 7).

По данным большого числа испытаний на рис. 8 приведены значения пределов длительной прочности металла стыковых швов, которые можно принимать при расчетах сварных соединений. Большинство полученных значений совпадает со значениями для основного металла близкого состава. У высоколегированных сварных швов, например жаропрочных на никелевой основе, длительная прочность уступает прочности основного металла.

Длительная прочность и пластичность сварных соединений определяются степенью их неоднородности и с повышением легирования основного металла и

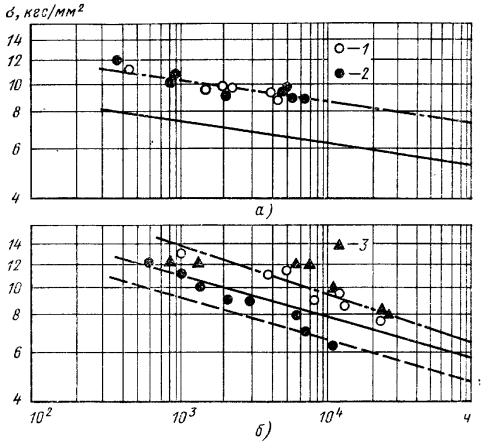


Рис. 9. Длительная прочность оребренных сварных труб поверхностей нагрева котлов:

а — трубы из стали 20; $T_{исп}$ = 475° С; *1* — гладкие трубы; *2* — оребренные трубы; *б* — трубы из стали 12Х1МФ; $T_{исп}$ = 600° С; *1* — гладкие трубы; *2* — оребренные трубы, отпуск после сварки; *3* — оребренные трубы, после сварки, нормализации с отпуском

особенно с переходом к термически упрочняемым материалам имеют тенденцию к снижению. На рис. 9 по данным испытания под внутренним давлением при высоких температурах приведены зависимости длительной прочности гладких и сварных оребренных труб ⌀ 32 × 6 мм из сталей 20 и 12Х1МФ. Экспериментальные точки для сравниваемых вариантов (рис. 9, *а*) располагаются вокруг общей линии, лежащей выше средней прямой гарантированных значений длительной прочности стали 20 (сплошная линия). Оребренные трубы разрушаются вне зоны оребрения (рис. 10, *а*); разрушение характеризуется высокой пластичностью (окружная деформация около 22—38%), одинаковой для гладких и оребренных труб.

Для стали 12Х1МФ длительная прочность гладких и оребренных труб (см. рис. 9, *б*) различается значительно. Если для гладких труб экспериментальные точки расположены выше кривой гарантированной длительной прочности стали 12Х1МФ (сплошная линия), то для оребренных труб, отпущенных после сварки, они находятся в области нижней границы допустимого отклонения результатов

испытаний стали на длительную прочность (штриховая кривая). С увеличением длительности испытаний разупрочнение сварных труб становится все более заметным; ориентировочно оно может быть оценено в 15—20%. Для неотпущенных труб разупрочнение достигает 30%. Сварные трубы разрушаются по разупрочненному участку (мягкой прослойке) сварного соединения на расстоянии 2—3 мм от границы сплавления (рис. 10, *б*) при пониженной пластичности (окружная деформация 1,2—4,5% по сравнению с деформацией 2,4—6,4% для гладких труб). Лишь после полной термической обработки (нормализации с отпуском) длительная прочность оребренных труб восстанавливается до прочности основного металла (см. рис. 9, *б*). Хотя труба в этом случае также разрушается преимущественно в околошовной зоне, но разрушение не сопровождается падением пластичности, как для отпущенных труб.

Выявленные закономерности разупрочнения сварных соединений хромомолибденованадиевых сталей при высоких температурах являются общими и для других соединений с развитой неоднородностью свойств и наличием в них участков пониженной прочности — мягкой прослойки. Таким участком для всех соединений может быть шов. В соединениях теплоустойчивых и жаропрочных высокохромистых сталей наиболее вероятно преждевременное разрушение в участке зоны термического влияния, нагреваемом при сварке в межкритическом интервале температур. Для свар-

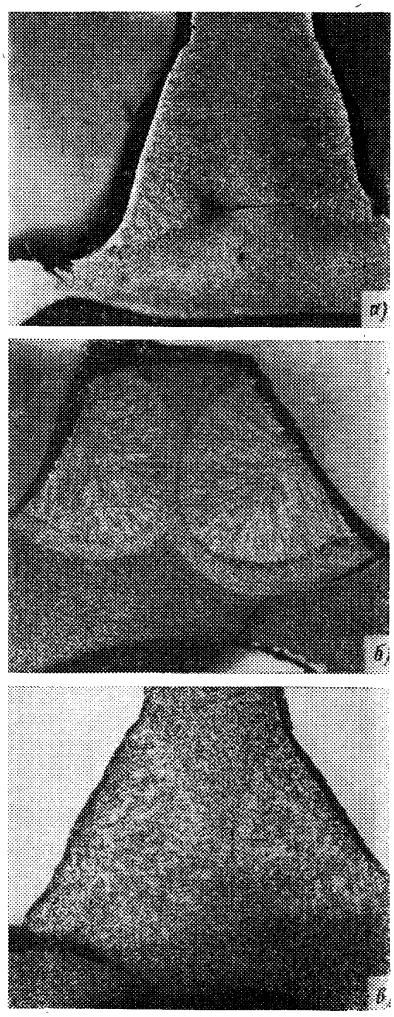


Рис. 10. Характер разрушения оребренных сварных труб после испытания на длительную прочность:

а — сталь 20 — исходное состояние; *б* — 12Х1МФ — отпуск после сварки; *в* — 12Х1МФ — нормализация с отпуском

ных соединений высокопрочных аустенитных сталей и сплавов таким участком является околошовная зона.

Общие закономерности поведения механически неоднородных сварных соединений при высоких температурах могут быть поняты при анализе особенностей деформации образца с мягкой прослойкой [6, 14]. При его нагружении сопротивление пластической деформации зависит не только от свойств металла прослойки, но и от ее размеров, степени неоднородности и компактности сечения. Такое поведение образца определяется тем, что вблизи границы (контакта) металлов разной прочности пластические деформации мягкого металла сдерживаются более прочным и в прослойке создается объемное напряженное состояние, увеличивающее за счет эффекта контактного упрочнения ее сопротивление дефор-

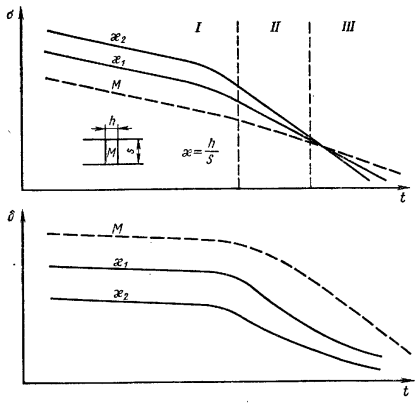


Рис. 11. Зависимости длительной прочности (*а*) и пластичности (*б*) сварных соединений с мягкими прослойками

мации при одновременном снижении пластичности до разрушения. С уменьшением относительной толщины ($\varkappa$) прослойки ее прочность растет, а пластичность снижается.

В условиях ползучести длительная прочность и пластичность сварных соединений с мягкой прослойкой на стадиях внутризеренного и межзеренного разрушения будут разными (рис. 11). В области *I* вязких внутризеренных разрушений эффект контактного упрочнения реализуется полностью. Линии длительной прочности образцов с разной относительной шириной мягкой прослойки ($\varkappa_1 > \varkappa_2$) параллельны и расположены выше кривой для однородного образца со свойствами мягкой прослойки. Длительная прочность соединения с мягкой прослойкой $(\sigma^{M}_{д.\,в})_{\varkappa}$ тем выше, а пластичность $(\psi^{M})_{\varkappa}$ тем ниже, чем меньше величина $\varkappa$; величина $(\sigma^{M}_{д.\,в})_{\varkappa} = \sigma^{M}_{дв} K_{\varkappa}$, где $\sigma^{M}_{д.\,в}$ — длительная прочность мягкого металла; $K_{\varkappa}$ — коэффициент контактного упрочнения, равный $\frac{\pi}{4} + \frac{1}{3\sqrt{3\varkappa}}$ для случая осесимметричной деформации.

В области *III* хрупких межзеренных разрушений, развитие которых связано с уровнем максимальных нормальных напряжений, длительная прочность сварного соединения $(\sigma^{M}_{д.\,хр})_{\varkappa}$ становится ниже длительной прочности свобод-

ной мягкой прослойки $\sigma^{M}_{д.\,хр}$:

$$(\sigma^{M}_{д.\,хр})_{\varkappa} = \frac{\sigma^{M}_{д.\,хр}}{K_{\mu}},$$

где K_{μ} — коэффициент, равный для случая осесимметричной деформации $1 + \frac{1}{1+\frac{1}{n}}$ (n — показатель ползучести). В предельных случаях это снижение может достигать 1,5—3 раз. Переход к хрупким разрушениям сопровождается и заметным снижением пластичности. В области *II* смешанных разрушений дли-

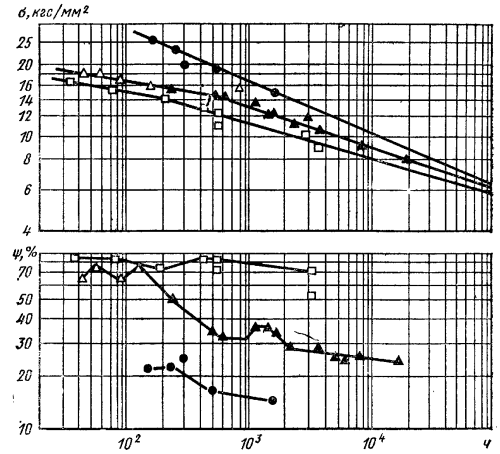


Рис. 12. Влияние исходной прочности стали 12Х1МФ на длительную прочность и пластичность сварных соединений; $T = 580^{\circ}$ С; предел прочности основного металла: ● — 81 кгс/мм²; △▲ — 56 кгс/мм²; □ — 48 кгс/мм²; место разрушения: △□ — основной металл; ●▲ — мягкая прослойка

тельная прочность сварных соединений относительно мягкой прослойки постепенно снижается.

При использовании термически упрочняемых сталей длительная прочность сварных соединений зависит и от уровня прочности основного металла. Ее зависимости для сварных соединений стали 12Х1МФ при трех значениях прочности основного металла (48, 56 и 81 кгс/мм²) приведены на рис. 12. Хотя в период, охваченный испытаниями, наименьшую прочность показали образцы отожженного состояния, а наибольшую низкоотпущенные образцы, с повышением времени до разрушения кривые сближаются и при экстраполяции на 10^5 ч сходятся. Характерна весьма низкая пластичность высокопрочных образцов, связанная с хрупкими разрушениями по мягкой прослойке. Поэтому при наличии в таких сварных соединениях концентратора напряжений может наступить их преждевременное разрушение. В отличие от этого отожженные малопрочные образцы

даже при большой длительности разрушаются вязко и нечувствительны к концентрации напряжений. Для них дополнительных мер по обеспечению плавности сопряжений в районе соединения можно не принимать. Образцы в высокоотпущенном состоянии (средней прочности) занимают промежуточное положение. Для них разрушения в мягкой прослойке начинаются при длительности испытания свыше 300 ч при несколько большей пластичности по сравнению с низкоотпущенными образцами.

Одной из наиболее важных характеристик материала как при высоких температурах, так и температуре 20° С, является его чувствительность к трещиноподобным дефектам. Значения чувствительности позволяют обосновать требования в условиях ползучести к допустимым дефектам в сварных соединениях. Как и в условиях испытания при температуре 20° С, могут быть использованы положения механики разрушения с применением силовых или деформационных критериев и проведением испытаний на образцах тех же типов.

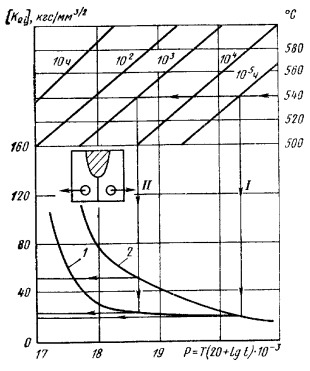


Рис. 13. Параметрическая зависимость k_{Qt} — t для сварных швов, наплавленных электродом типа Э-09Х1МФ:

1 — исходное состояние; *2* — отпуск при 720—740° С

На рис. 13 по данным [13] в параметрической обработке приведены результаты испытания при 560° С сварных образцов толщиной 18—20 мм стали 12Х1МФ (шов наплавлен электродом Э-09Х1МФ) с естественным надрезом на внецентренное растяжение. Расчетное значение начального коэффициента интенсивности напряжения k_{Qt}, характеризующего напряженное состояние в вершине трещины, определялось по формулам линейной механики разрушения. При заданных длительности работы t и уровне напряжений σ глубину трещины l можно предварительно определить по формуле

$$\frac{l}{Q} = \left(\frac{k_{Qt}}{\sigma}\right)^2 C,$$

где Q — безразмерный параметр трещины; k_{Qt} определяется из построений *I* и *II* на рис. 13; C — постоянная, зависящая от формы и размеров данного элемента и дефекта, а также от характера нагружения.

Используя данные испытаний, обобщенных на рис. 13, можно подсчитать, что в сварном стыке паропровода с толщиной стенки 20 мм*, эксплуатирующемся при 560° С в течение 10^5 ч, при напряжении $\sigma = 6$ кгс/мм^2 (построение *I*) допустимая глубина дефекта без опасности разрушения стыка может быть 2 мм [13]. Термическое состояние стыка после сварки в этом случае не влияет на его надежность. При работе в течение 10^3 ч (построение *II*) сравнительно небольшой дефект в неотпущенном стыке может привести к его разрушению. Опыт эксплуатации подтверждает повышенное развитие трещин у стыков хромомолибденованадиевых сталей, не подвергающихся отпуску, именно в первый период эксплуатации.

Для высокотемпературных установок характерны периодические пуски и остановы, во время которых в зонах концентрации возможны дополнительные пластические деформации из-за проявления температурных и компенсационных напряжений. Как показал опыт эксплуатации, это приводит к возникновению

* При расчете элементов с другой толщиной стенки должны использоваться результаты испытания образцов близкой толщины.

трещин в указанных участках сварных соединений (у вершин угловых швов в местах стыковки труб с разной толщиной стенки, у непроваров, подрезов и других). Такое проявление эффекта малоцикловой усталости при высоких температурах в отличие от комнатной при оценке повреждаемости требует одновременного учета ее накопления за счет механизмов усталости и ползучести.

Для инженерной оценки циклической долговечности сварных соединений при высоких температурах можно использовать [8] схему Мэнсона, в которой исходными характеристиками являются механические свойства и длительная прочность при рабочей температуре, а также частота нагружения. Долговечность определяется по меньшему из двух значений, подсчитанному по правилу 10%:

$$N_f' = 0{,}1 N_f$$

или по формуле, основанной на линейном суммировании повреждений от усталости и ползучести при некотором условном (эффективном) цикле нагружения:

$$N_f' = \frac{N_f}{1 + \frac{k}{AF} N_f^{\frac{m+0{,}12}{m}}},$$

где N_f' — долговечность в условиях ползучести; N_f — долговечность при отсутствии ползучести, определяемая по методу универсальных наклонов; A и m — постоянные для данного материала и условий испытаний, определяемые по кривой длительной прочности в логарифмических координатах; F — частота нагружения; k — условный коэффициент, принимаемый обычно равным 0,3.

Проверка указанной схемы на угловых и стыковых соединениях хромомолибденованадиевых сталей показала, что для относительно быстрых циклов (в условиях испытания около 5 мин) или при сравнительно невысоких температурах, когда эффект ползучести относительно невелик, с достоверностью можно использовать формулу 10%. Для циклов большой длительности, характерных для стационарных установок, расчет по правилу 10% дает завышенные значения долговечности и в этих случаях нужно использовать формулу суммирования повреждений.

Стабильность структуры и свойств. Как отмечалось ранее, на жаропрочность влияют структурное состояние металла и его стабильность во времени. По условию формирования сварного соединения его различные зоны в исходном состоянии имеют неравновесную структуру с высокой степенью пересыщенности твердого раствора и большой плотностью структурных несовершенств. Во время последующих высокотемпературных выдержек такое структурное состояние является нестабильным и подвержено значительному изменению, сопровождающемуся и существенным изменением свойств. Хотя термическая обработка заметно снижает степень структурной неравновесности разных зон соединения, она тем не менее не восстанавливает полностью структуру и свойства сварного соединения до уровня свойств основного металла.

Для шва и околошовной зоны сварных соединений, подвергаемых при сварке перегреву, последующая высокотемпературная выдержка по-разному влияет на структуру и свойства. Если сталь не содержит энергичных карбидообразующих элементов, то с увеличением температуры и длительности выдержки твердость участка перегрева постепенно снижается (кривая *1* на рис. 14), что связано с распадом неравновесной структуры и коагуляцией дисперсных фаз. При наличии в стали таких элементов как ванадий, титан и ниобий, на начальной стадии старения твердость растет тем заметнее, чем выше содержание этих элементов (кривые *2* и *3*). Это связано с эффектом твердения за счет выпадения дисперсных карбидов ванадия из пересыщенного твердого раствора. Дальнейшая выдержка ведет к постепенному снижению твердости, обусловленному эффектом перестаривания. Чем выше температура выдержки, тем быстрее достигается максимальная твердость и тем меньше она.

В зависимости от термического режима сварки исходная структура шва и околошовной зоны может заметно меняться. Соответственно и процессы старения этих зон могут развиваться поразному. На рис. 15 приведены зависимости изменения твердости и пластичности околошовной зоны сварного соединения стали 15Х2НМФА в процессе старения. Образцы перед испытанием нагревали и охлаждали по режимам для околошовной зоны с получением конечной ее структуры в диапазоне от мартенситной до бейнитно-ферритной. Наложение кривых охлаждения на диаграмму анизотермического превращения показало, что они охватывают все возможные режимы сварки и наплавки. Для образцов с наиболее равновесной структурой (бейнитно-ферритной) четко проявляется эффект старения и кривая *2* имеет явно выраженный максимум; с повышением степени неравновесности исходной структуры эта закономерность нарушается. Кривая *1* для образца с мартенситной структурой имеет два перегиба, являющиеся следствием одновременного протекания двух процессов: распада закалочных структур и дисперсионного твердения. Если

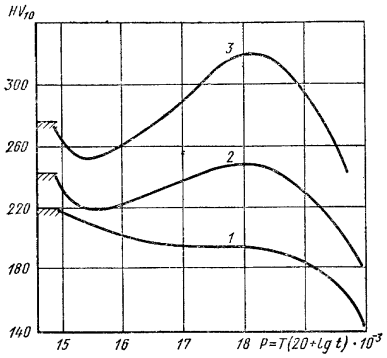


Рис. 14. Влияние содержания ванадия в низколегированной стали на изменение твердости в околошовной зоне в процессе старения. Содержание ванадия:

1 — 0%; *2* — 0,17%; *3* — 0,35%

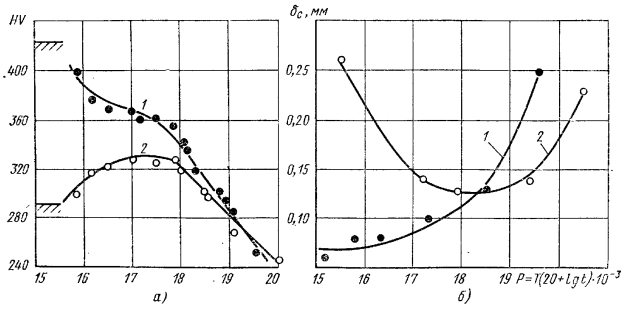


Рис. 15. Сводные параметрические зависимости изменения твердости и чувствительности к трещинам околошовной зоны стали 15Х2НМФА в процессе старения:

а — твердость; *б* — критическое раскрытие; исходная структура околошовной зоны: *1* — мартенсит; *2* — бейнит с ферритом

на кривых старения разных зон сварного соединения отсутствуют пики твердости, а с увеличением температуры и длительности выдержки твердость монотонно

снижается, то заметного изменения свойств этих зон, как правило, не происходит. В отличие от этого развитие в процессе старения дисперсионного твердения сопровождается существенным изменением свойств шва и околошовной зоны. Для перлитных сталей оно обычно приводит к повышению переходной температуры хрупкости и к увеличению таким образом опасности хрупкого разрушения изделия при температуре 20° С, как, например, во время гидравлического испытания сосудов и трубопроводов, проводимого в этом температурном интервале. Для сталей разных структурных классов оно сопровождается также снижением высокотемпературной пластичности в диапазоне температур и выдержек, соответствующих максимальной твердости. Минимальное критическое раскрытие трещины по результатам испытания при высоких температурах образцов на чистый изгиб составляет лишь 0,05—0,12 мм (рис. 15, *б*), в то время как для основного металла оно обычно не падает ниже 0,8 мм. Наиболее низка пластичность образцов с мартенситной структурой: с переходом к более равновесным структурам околошовной зоны температурный интервал хрупкости сужается и сдвигается в зону более высоких температур.

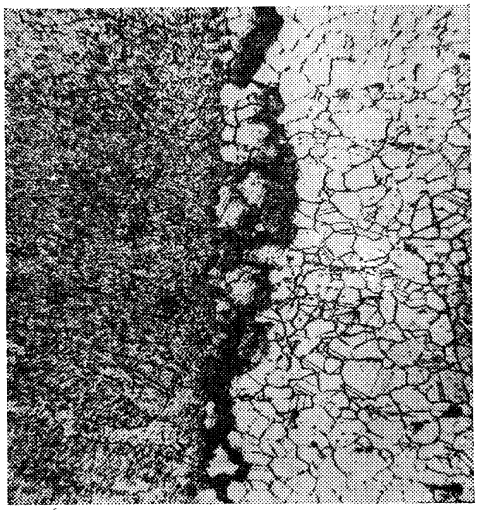


Рис. 16. Микроструктура высокотемпературного хрупкого разрушения в околошовной зоне сварного соединения стали 12Х18Н10Т. 300 ×

Такое резкое снижение пластичности зон перегрева сварных соединений при высокотемпературной выдержке приводит к опасности появления в них трещин при термической обработке и последующей эксплуатации. Они обычно имеют межзеренный характер и, как правило, концентрируются в околошовной зоне на расстоянии одного-двух зерен от границы сплавления (рис. 16). Массовое их появление при высокотемпературной эксплуатации явилось одной из основных

причин отказа в 60-х годах от широкого применения аустенитных паропроводов из стали 12Х18Н10Т. Подобные трещины, возникая при термической обработке при последующих испытаниях или эксплуатации изделия, могут явиться очагами хрупких разрушений.

Склонность к хрупкому разрушению в околошовной зоне наиболее полно может быть выявлена проведением высокотемпературных испытаний сварных образцов на изгиб (рис. 17). В условиях изгиба длительная прочность при 600° С сварного соединения стали 15Х1М1Ф в исходном и недоотпущенном состояниях, когда в наибольшей степени проявляется эффект дисперсного твердения, примерно на 30% ниже соответствующих значений для основного металла (рис. 17, *а*). После высокого отпуска, приводящего к перестариванию металла околошовной зоны, длительная прочность повышается и становится близкой к прочности основного металла в том же исходном состоянии. Длительная прочность при изгибе

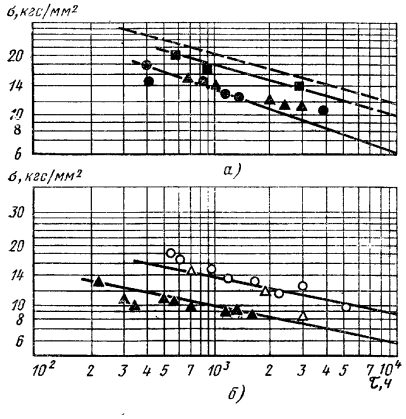


Рис. 17. Зависимости длительной прочности при испытаниях сварных образцов на изгиб:

а — плоские образцы стали 15Х1М1Ф:
● — исходное состояние после сварки;
▲ — недоотпуск при 680° С;
■ — отпуск при 730° С;
б — трубчатые образцы стали 12Х18Н10Т:
○ — растяжение; сварные образцы: △ — растяжение;
▲ — изгиб

сварных соединений аустенитной стали 12Х18Н10Т (рис. 17, *б*) также заметно снижается. В условиях растяжения длительная прочность сварных соединений близка к прочности основного металла и разрушений в околошовной зоне, характерных для эксплуатации, не происходит.

Количественно оценить вероятность хрупких разрушений можно в условиях испытания по методике ЦКТИ [4] сварных образцов на изгиб с постоянной скоростью деформации. За показатель склонности против хрупких разрушений принимают относительное удлинение наружного волокна до появления трещины. Для приближенной оценки склонности сварных соединений к хрупким разрушениям в околошовной зоне можно использовать различные технологические пробы и в первую очередь тавровую [2] и стыковую пробу ЛКЗ [4].

Проведенные по методике ЦКТИ испытания позволили четко разделить сварные соединения по склонности к хрупким разрушениям в околошовной зоне и оценить влияние на нее различных факторов. Наблюдаемая при этом разница в длительной пластичности может достигать одного-двух порядков. Так, сварные соединения стали 15Х1М1ФЛ (рис. 18, *а*) при высокой прочности основного металла разрушаются в исходном и недоотпущенном состояниях практически бездеформационно ($\delta = 0{,}1 + 1{,}0\%$). Проведение для них высокого отпуска, который снимает эффект дисперсного твердения и уменьшает прочность основного металла,

заметно повышает пластичность до 12—20%. Хотя и в этом случае разрушения концентрируются в околошовной зоне, они сопровождаются значительной деформацией, что заметно уменьшает вероятность хрупких разрушений.

Высокой склонностью к хрупким разрушениям в исходном и стабилизированном состояниях обладают сварные соединения стали типа 12Х18Н10Т, легированной титаном (рис. 18, *б*). Лишь аустенизация, снимая эффект дисперсионного твердения, обусловливает повышение пластичности сварного соединения до уровня основного металла.

С ростом жаропрочности аустенитной стали, достигаемым обычно дополнительным легированием ее титаном, ниобием и алюминием, склонность сварных соединений к хрупким разрушениям в околошовной зоне заметно возрастает. Особенно велика она в сварных соединениях высокожаропрочных сплавов на никелевой основе [4].

Одним из основных факторов, определяющих жаропрочность сварных соединений аустенитных сталей, является охрупчивание их швов при высокотемпературных

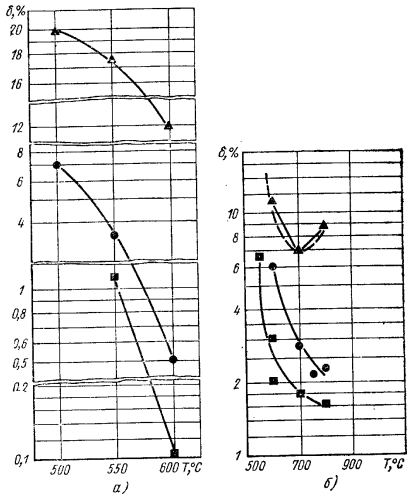


Рис. 18. Изменение длительной пластичности сварных соединений, склонных к хрупким разрушениям в околошовной зоне. Испытания на изгиб по методике ЦКТИ:

а — сталь 15Х1М1ФЛ: ● — исходное состояние; ▩ — недоотпуск при 630° С; ▲ — высокий отпуск при 730° С;
б — сталь 12Х18Н10Т: ● — исходное состояние; ■ — стабилизация при 800° С; ▲ — аустенизация при 1150° С;
— — — — основной металл

выдержках. В зависимости от фазового состава шва и его легирования оно может иметь разную природу.

Охрупчивание наиболее распространенных аустенито-ферритных, а также феррито-аустенитных и ферритных швов связано прежде всего с нестабильностью ферритной фазы при высоких температурах. Ответственными за него в данном случае являются механизмы 475-градусной хрупкости и δ-охрупчивания. Тонкое распределение ферритной фазы в сварных швах ускоряет процессы распада ферритной фазы.

По данным испытания на ударную вязкость металла аустенитных и аустенито-ферритных швов (рис. 19) выявляются две области их высокотемпературного охрупчивания. Первая из них, расположенная в интервале 300—500° С, начинает проявляться, если содержание ферритной фазы в структуре шва превышает 8—10%. Увеличение его до 20% приводит уже к резкому падению ударной вязкости даже после относительно кратковременных выдержек в этом интервале температур и может проявляться в появлении трещин в корневых слоях многослойного шва непосредственно во время сварки. Ответственным за охрупчивание в этом интервале температур является механизм 475-градусной хрупкости, приводящий к структурным изменениям в первую очередь на границе раздела аустенитной и

ферритной фаз. Хрупкость такого рода в зависимости от содержания феррита в структуре сохраняется до 200—500° С. Она устраняется относительно кратковременным нагревом при 550° С и выше.

В области температур 550—850° С аустенито-ферритные швы подвержены охрупчиванию вследствие образования при этих температурах в участках феррита хрупких интерметаллидных соединений типа σ-фазы. Оно сопровождается снижением не только вязкости, но и пластичности при комнатной и повышенных температурах и проявляется уже при содержании феррита свыше 4—5%. Повышение стойкости против σ-охрупчивания аустенито-ферритных швов достигается проведением их аустенизации при температурах выше 900—950° С, способствующей более благоприятному распределению ферритной фазы в виде округлых участков.

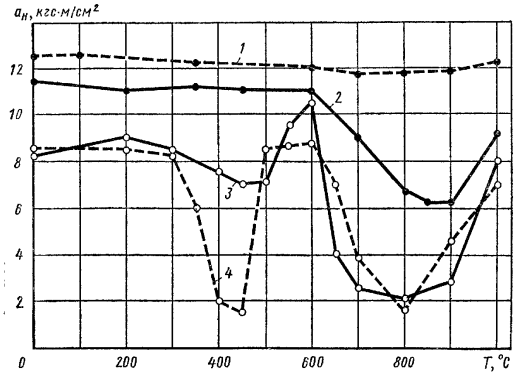


Рис. 19. Ударная вязкость аустенитного и аустенито-ферритных швов при 20° С после выдержки в интервале температур 20—1000° С длительностью 10 ч; содержание феррита:

1 — 0%; *2* — 4%; *3* — 8%; *4* — 20%

По данным исследований [4] по условию σ-охрупчивания сварные соединения с аустенито-ферритными швами, наплавленными электродами типов Э-09Х19Н11Г3М2Ф и Э-08Х19Н10Г2Б с ограниченным содержанием ферритной фазы, могут эксплуатироваться до 10^5 ч при температуре не выше 600° С. Повышение ее до 650° С может быть допущено лишь после проведения аустенизации сварного соединения.

Однофазные аустенитные швы с содержанием хрома до 18—19% заметно более стабильны при высоких температурах. При большем содержании хрома, как, например, для электродов типа Э-10Х25Н13Г2, наблюдается интенсивное σ-охрупчивание и при однофазном составе аустенитного шва. В высоконикелевых сварных швах при содержании молибдена выше 14% в процессе старения при температурах выше 700° С проявляется охрупчивание, обусловленное выделением частиц μ-фазы [4].

Пути повышения жаропрочности сварных соединений. Эксплуатационная надежность сварных узлов при высоких температурах зависит от комплекса свойств жаропрочности и определяется выбором материала изделия, степенью неоднородности сварных соединений, конструктивными формами и условиями работы. Особое внимание должно уделяться опасности хрупких разрушений, развитие

которых является основной причиной преждевременного выхода высокотемпературных узлов из строя.

Для рассматриваемых сварных конструкций необходимо выбирать стали с учетом условий работы изделия в соответствии с правилами Госгортехнадзора СССР, стандартами на изделия и нормами расчета. Предпочтение должно быть отдано материалам, обладающим лучшей технологичностью при сварке, обеспечивающим максимальную однородность сварных соединений при отсутствии в них разупрочненных и хрупких зон и склонности к образованию трещин при термической обработке и эксплуатации.

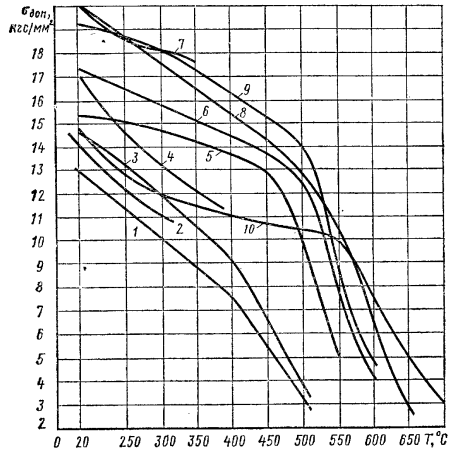


Рис. 20. Зависимость номинальных допускаемых напряжений от рабочей температуры для материалов стационарных энергетических установок [1]:

1 — сталь 10; *2* — сталь Ст3; *3* — сталь 20 (20К); *4* — 16ГС (09Г2С); *5* — 15ХМ; *6* — 12Х1МФ; *7* — 16ГНМ; *8* — 12Х11В2МФ; *9* — 15Х1М1Ф; *10* — 12Х18Н10Т

По температурным условиям работы целесообразно выделить две группы высокотемпературных конструкций: 1) работающих при повышенных температурах (до 350—400° С для перлитных и 500° С для аустенитных сталей), когда эффектом ползучести можно пренебречь; 2) работающих при более высоких температурах в условиях ползучести.

Допустимые напряжения для наиболее распространенных свариваемых сталей в стационарных энергетических установках приведены на рис. 20. Перегибы кривых связаны с переходом от расчета по пределу текучести (для первой группы конструкций) к расчету по пределу длительной прочности за 10^5 ч.

Для первой группы сварных узлов, к которым принадлежат такие ответственные конструкции, как атомные энергетические установки, барабаны паровых котлов и сосуды нефтехимических установок, выбор материалов подчиняется общим конструктивно-технологическим требованиям. Стали, обычно используемые для сварных узлов, работающих в нормальном диапазоне температур, можно применять и в данном случае. Исключение составляют стали, чувствительные к де-

формационному старению в интервале температур 200—300° С, а также к 475-градусной хрупкости. Например, изделия из кипящих низкоуглеродистых сталей можно применять лишь в условиях до 150—200° С, а феррито-аустенитные стали в ответственных сварных узлах можно использовать лишь до 300—350° С. Каких-либо ограничений применения хорошо свариваемых аустенитных сталей в условиях до 500° С, как, например, стали 12Х18Н10Т, не имеется.

При выборе материала и условий изготовления ответственных сварных конструкций с толщиной элементов свыше 30 мм (сосуды, барабаны, роторы) для работы при высоких температурах необходимо учитывать не только надежную работу изделия в эксплуатационных условиях, но и отсутствие хрупких разрушений во время изготовления, гидравлических и других испытаний. Поэтому материал конструкции должен обладать не только требуемыми свойствами при высоких температурах, но и иметь необходимый запас вязкости при комнатной и пониженных температурах.

Выбор материалов для сварных узлов второй группы более сложен. Кроме общих требований к свариваемости эти материалы должны обеспечить максимальную однородность сварного соединения и отсутствие в нем развитых малопрочных и хрупких зон при высоких температурах. Исходя из указанных требований наиболее пригодными материалами для рассматриваемых условий работы являются термически неупрочняемые стали и сплавы. Так, из теплоустойчивых сталей предпочтительными являются хромомолибденовые стали: из аустенитных сталей — легированные молибденом и в первую очередь стали марок Х16Н9М2 и 08Х16Н13М2Б. Сварные соединения, выполненные из этих сталей, не склонны к разупрочнению и хрупким высокотемпературным разрушениям в околошовной зоне. Они практически равнопрочны основному металлу.

Хотя рассмотренные выше термически неупрочняемые стали по условию эксплуатационной надежности являются наиболее предпочтительным материалом для сварных узлов, работающих в условиях ползучести, по жаропрочности они заметно уступают термически упрочняемым сталям и сплавам, и поэтому находят ограниченное применение. Наиболее распространенными для высокотемпературных установок являются термически упрочняемые теплоустойчивые хромомолибденованадиевые стали, жаропрочные высокохромистые стали, легированные ванадием, ниобием и вольфрамом, и аустенитные стали и сплавы на никелевой основе с титаном, ниобием и алюминием. В связи с развитой неоднородностью их сварных соединений необходимо применять дополнительные мероприятия, повышающие их жаропрочность и исключающие опасность хрупких разрушений. Важнейшими из них являются:

1. Ограничение прочности основного металла. По этому требованию предел прочности хромомолибденованадиевых теплоустойчивых сталей в сварных соединениях не должен быть выше 60—65 кгс/мм^2, а высокохромистых жаропрочных сталей не выше 80 кгс/мм^2.

2. Применение сталей и сплавов на никелевой основе после электрошлакового и вакуумно-дугового переплава.

3. Устранение концентраторов в районе соединения и расположение сварных стыков вне зоны действия высоких напряжений изгиба. С этой целью необходимо вводить обязательную зачистку или механическую обработку наружной и внутренней поверхностей стыков до плавного сопряжения с основным металлом. Располагать сварные стыки следует вне зон резкого изменения сечения соединяемых элементов. При необходимости такого расположения соединения, как, например, при приварке труб поверхностей нагрева к камерам котлов, желательно вводить штуцера с утолщенной стенкой для уменьшения напряжений изгиба.

4. Проведение термической обработки по режимам, обеспечивающим отсутствие охрупчивания околошовной зоны и шва. Предпочтительными являются режимы высокотемпературной термической обработки — нормализации с отпуском для сварных соединений теплоустойчивых хромомолибденованадиевых сталей и аустенизации с последующей стабилизацией для аустенитных сталей и сплавов на никелевой основе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Антикайн П. А.** Металлы и расчет на прочность элементов паровых котлов. М., Энергия», 448 с.
2. **Ардентов В. В., Ананьева М. А.** и **Баландин Ю. Ф.** Прогнозирование локальных разрушений в металле околошовной зоны сварных соединений аустенитной стали типа Х18Н10. — Сварочное производство, 1977, № 1, с. 8—10.
3. **Винокуров В. А.** Отпуск сварных конструкций для снижения напряжений. М., Машиностроение, 1973, с. 213.
4. **Земзин В. Н.** Жаропрочность сварных соединений. Л., Машиностроение, 1972, с. 272.
5. **Земзин В. Н.** Пути повышения надежности сварных узлов энергооборудования. — Энергомашиностроение. 1975, № 12, с. 16—18.
6. **Земзин В. Н.** и **Шрон Р. З.** Влияние температурно-временного эффекта на жаропрочность сварных соединений. — Прочность материалов и конструкций. Киев, Наукова думка, 1975, с. 287—292.
7. **Конструктивно-технологическое** проектирование сварных конструкций энергетических машин. РТМ 24.940 08—74, 1976. 112 с.
8. **Материалы** Всесоюзного симпозиума по малоцикловой усталости при повышенных температурах. Вып. 1—4, Челябинск, 1974.
9. **Николье Р.** Конструирование и изготовление сосудов давления. М., Машиностроение, 1975. 464 с.
10. **Станюкович А. В.** Хрупкость и пластичность жаропрочных материалов. М., Металлургия, 1967. 199 с.
11. **Технология** электрической сварки металлов и сплавов плавлением. Под ред. акад. Б. Е. Патона. М., Машиностроение, 1974. 768 с.
12. **Химушин Ф. Ф.** Жаропрочные стали и сплавы. М., Металлургия, 1964. 672 с.
13. **Шрон Р. З.** и **Корман А. И.** О сопротивляемости разрушению сварных соединений теплоустойчивых сталей в условиях ползучести. — Сварочное производство, 1976, № 7, с. 8—10.
14. **Шрон Р. З.** О прочности при растяжении сварных соединений с мягкой прослойкой в условиях ползучести. — Сварочное производство, 1970, № 7, с. 12—13.

Глава 7

КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ И ПРОЧНОСТЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

ВИДЫ И ОСОБЕННОСТИ КОРРОЗИОННЫХ РАЗРУШЕНИЙ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Виды и особенности коррозионных разрушений металлических, в том числе сварных, конструкций определяются свойствами материала, напряженным состоянием в конструкции, свойствами коррозионной среды и условиями взаимодействия металла со средой (температурой, временем, условиями контактирования, давлением и др.). Механизм коррозионных разрушений сварных соединений не отличается от механизма разрушений основного металла. Особенности, которые определяют (в отличие от основного металла) причины, характер, кинетику и механизм разрушений сварных соединений, зависят от физико-химического воздействия сварки, вызывающего неблагоприятное изменение и неоднородность свойств металла и напряженного состояния, следствием чего является усиление отрицательного воздействия среды.

Для сварного соединения характерны: а) структурно-химическая макро- и микронеоднородность (основной металл, литой металл шва, переходные структурные зоны влияния; зерна, границы зерен, фазы включения и т. д. в пределах каждой зоны); б) неоднородность напряженного состояния собственного (остаточные напряжения и пластическая деформация) и от внешней нагрузки; в) геометрическая неоднородность (технологические и конструктивные концентраторы). Эти основные виды неоднородности определяют механическую, физическую и электрохимическую макро- и микронеоднородность сварных соединений (рис. 1) и особенности коррозионных разрушений сварных соединений (рис. 2).

По механизму различают коррозию химическую и электрохимическую. Химическая коррозия представляет собой процесс взаимодействия металла с агрессивным компонентом среды (сухими газами, неэлектролитами) по реакции $Me + x \rightarrow Me\,x$. Электрохимическая коррозия — процесс самопроизвольного разрушения металла в результате электрохимических реакций, скорость которых определяет скорость коррозии: а) анодной реакции — перехода ионов металла Me^{+} в раствор с оставлением эквивалентного количества n электронов e в металле; $Me^{0} - ne \rightarrow Me^{n+}$, определяющей материальные потери при коррозии; б) катодной реакции—процесса восстановления окислительных компонентов среды D (H^{+}, O_2, Cl_2, Br_2, NO_3^{-}, и др.) за счет присоединения появившихся в металле избыточных электронов (процесс деполяризации $D + ne \rightarrow (Dne)$); в) процесса перетекания электронов по металлу и соответствующего перемещения катионов (+) и анионов (—) в растворе, т. е. коррозионного тока [1]. В подавляющем большинстве сред процесс коррозии является электрохимическим.

По виду коррозионных разрушений различают общую (сплошную) коррозию (равномерную, неравномерную, избирательную); местную (локализованную в виде язв, точек, под поверхностью, межкристаллитную); растрескивание под действием статических и циклических нагрузок.

Особенности общей электрохимической коррозии сварных соединений связаны с электрохимической неоднородностью двух видов: а) макронеоднородностью, обусловленной различием химического состава и структуры в разных зонах соединения; б) микронеоднородностью, обусловленной структурной и химической неоднородностью в пределах каждой зоны (рис. 3). Поэтому в коррозионном отношении сварное соединение представляет собой сложную многоэлектродную короткозамкнутую электрохимическую систему, характерными макро-

электродами которой являются шов, зона термического влияния с серией переходных структур, основной металл (табл. 1).

Макронеоднородность оценивается по величине средних электродных потенциалов $\bar{\varphi}$ каждой зоны, микронеоднородность — по величине локальных элек-

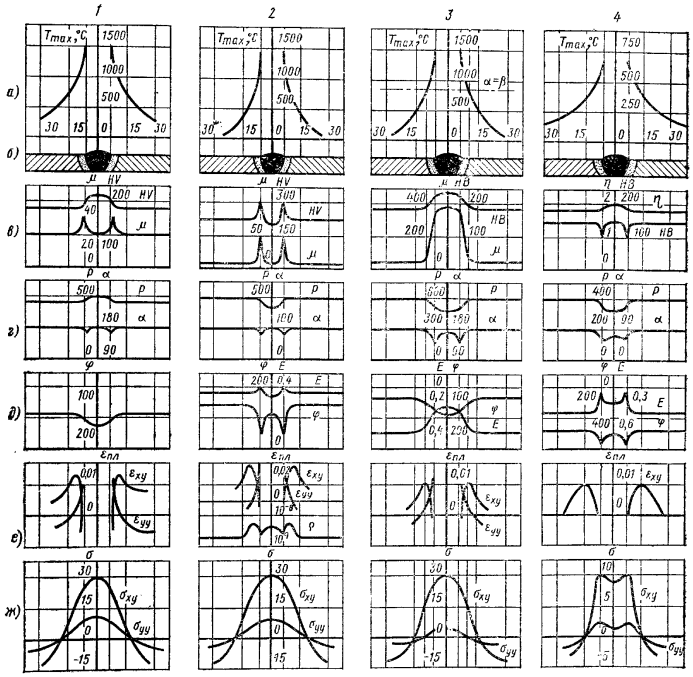


Рис. 1. Неоднородность сварных соединений в поперечном сечении:

а — максимальные температуры; *б* — схемы сварного соединения; *в* — твердости *HV*, *HB*, величина μ зерна и плотность η окисной пленки; *г* — механические свойства при изгибе; *P* — несущая нагрузка, кгс; α — угол изгиба; *д* — электродный φ и термоэлектрический *E* потенциалы, мВ; *е* — остаточные пластические продольные ε_{xy} и поперечные ε_{yy} деформации; ρ — ориентировочная плотность дислокаций; *ж* — остаточные продольные σ_{xy} и поперечные σ_{yy} напряжения, кгс/мм²:
1 — Ст3сп; *2* — 12Х18Н10Т; *3* — ВТ1-1; *4* — АМг6, δ = 3 мм, аргонодуговая сварка вольфрамовым электродом

тродных потенциалов φ_i в пределах каждой зоны. Показателем макроэлектрохимической неоднородности сварного соединения является разность начальных потенциалов $\Delta\varphi$ между зонами. Показателем микронеоднородности каждой зоны служит разброс начальных локальных потенциалов $\Delta\varphi_i = \varphi_{i\,max} - \varphi_{i\,min}$ в пределах каждой зоны.

Восприимчивость сварного соединения в целом или какой-либо его зоны к воздействию коррозионных сред и скорости коррозии зависит от общих и локальных электродных потенциалов и поляризуемости. Чем отрицательнее потенциалы и больше их разность, тем, как правило, больше скорость коррозии.

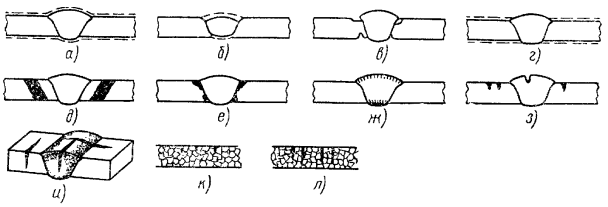


Рис. 2. Виды разрушений сварных соединений:

а—г — соответственно общая коррозия: равномерная, сосредоточенная на шве, сосредоточенная в зоне термического влияния, преимущественно основного металла; *д—з* — соответственно местная коррозия: межкристаллитная в зоне термического влияния, ножевая в зоне сплавления, в сварном шве и точечная; *и—л* — коррозионное растрескивание и усталость меж- и транскристаллитные

В зависимости от значений $\Delta\bar{\varphi}$ и $\Delta\varphi_i$ возможны следующие характерные случаи общей коррозии сварных соединений: а) $\Delta\bar{\varphi} > 0$, $\Delta\varphi_i \to 0$, — коррозия по преимущественно макрогетерогенноэлектрохимическому механизму. Определение $\bar{\varphi}$ и $\Delta\varphi_i$ позволяет в первом приближении судить о неустойчивости различных зон

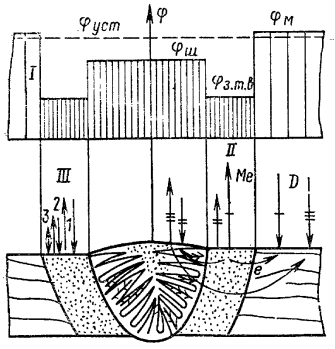


Рис. 3. Схемы коррозии сварного соединения:

I — характерное распределение начальных макропотенциалов в сварном соединении; $\varphi_ш$ — электродный потенциал шва; $\varphi_{з.т.в}$ — электродный потенциал зоны термического влияния; $\varphi_м$ — электродный потенциал основного металла; $\varphi_{уст}$ — установившийся стационарный потенциал заполяризованной системы шов — зона термического влияния (з.т.в.) — основной металл; *II* — макроэлектрохимическая коррозия, макропара основной металл — зона термического влияния, макропара зона термического влияния — шов, макропара основной металл — шов с зоной термического влияния; *III* — коррозия самораствореиия каждой зоны: *1* — гетерогенный механизм электрохимической коррозии; *2* — гомогенный механизм электрохимической коррозии; *3* — химическая коррозия

и всего соединения в целом; б) $\Delta\bar{\varphi} \to 0$, $\Delta\varphi_i > 0$ — коррозия по преимущественно микроэлектрохимическому механизму; в) $\Delta\bar{\varphi} > 0$, $\Delta\varphi_i > 0$ — смешанный механизм коррозии.

Общая (сплошная) электрохимическая коррозия характерна для сварных конструкций из углеродистых и низколегированных сталей в большинстве природных сред (атмосфере, водных средах, почве).

Местные избирательные виды коррозии характерны для сварных соединений высоколегированных сталей и цветных металлов в средах, в которых металл

1. Электродные потенциалы различных зон сварных соединений в 3%-ном NaCl

Материал	Способ сварки	Электродный потенциал, мВ		
		Основной металл	Сварной шов	Зона термического влияния
Стали низкоуглеродистые низколегированные:				
09Г2С	Ручная дуговая, электрод типа Э55	—460	—540	—480
17Г2С1		—500	—540	—550
17Г2СФ		—455	—540	—485
Коррозионностойкие стали:				
12Х18Н10Т	Аргонодуговая	+137	+108	+75
10Х14АГ15	Ручная без присадки, электроды ОЗЛ8	—170	—165	—250
Алюминиевые сплавы				
АМг6	Аргонодуговая без присадки	—492	—514	—567
АМг62		—680	—700	—880
Технический титан ВТ1-1	Аргонодуговая без присадки	—125	—180	—140
Цирконий		—455	—393	—446
Тантал	Электронно-лучевая	—180	—240	—212
Ниобий		—241	—255	—280

находится в пассивной и пассивно-активной области. Межкристаллитная коррозия, связанная со структурными изменениями в сталях, характерна при воздействии на них нагрева до критических температур 450—900° С для аустенитных и выше 900° С для высокохромистых ферритных сталей. Примером является межкристаллитная коррозия сварных соединений аустенитных хромоникелевых сталей, подробно рассмотренная в работе [6]. Разрушение развивается в трех зонах: в основном металле, нагреваемом при сварке до 500—900° С, в сварном шве и в основном металле вблизи линии сплавления в узкой зоне, нагреваемой до температур свыше 1200—1250° С (ножевая коррозия). Преимущественное разрушение границ зерен обусловлено электрохимической неоднородностью металла, возникающей при определенных для каждого сплава температурно-временных условиях в связи с выделением избыточных фаз. Если избыточные фазы образуют протяженные цепочки по границам зерен, то коррозионное разрушение приобретает чрезвычайно опасный межкристаллитный характер. Наиболее характерными избыточными фазами коррозионно-стойких сталей, практически постоянно в них присутствующими, являются карбиды. В зависимости от химического состава стали и условий термического воздействия на них образуются карбидные фазы [2] следующих типов: MC (M∈ Ti, Nb, W, Zr, Ta); M_2C (M∈W, Mo); M_3C (на основе железа); M_7C_3 и $M_{23}C_6$ (на основе хрома), $M'_nM''_mC$ (M'∈Fe, Ni, Co, Si; M''∈W, Mo, Ta, V, Cr, Nb); часто $n + m = 6$; $M_{12}C$. Наряду с карбидными возможно образование других фаз, представляющих собой соединения компонентов стали с неметаллами (нитриды, карбонитриды, сульфиды, бориды и др.), а также интерметаллидных фаз (σ, χ), ряд фаз типа Лавеса (Fe_2Mo, Fe_2W, Fe_2Nb), упрочняющих фаз [M_3Ti, M_3Al) и др.

Принципиальная схема влияния температурно-временных условий на выделение карбидов и межкристаллитную коррозию показана на рис. 4. Темпера-

туры ≤ 850° С благоприятны для преимущественного выделения $M_{23}C_6$ (кривая *1*). Ножевая коррозия связана с выделением цепочки карбидов стабилизирующих элементов (МС) под действием высоких температур (> 1200—1250° С) по границам зерен (околошовной зоны). Так как скорость коррозии (кипящая 56%-ная HNO_3) карбида титана примерно в 1000 раз, а карбида ниобия в 3—4 раза больше, чем скорость коррозии стали, то происходит избирательное растворение частиц карбидов, расположенных по границам зерен при катализирующем действии этого процесса на растворение прилегающих участков стали. Дополнительное тепловое воздействие в области критических температур (наложение второго шва) приводит к выделению карбидов хрома ($M_{23}C_6$), что усложняет механизм ножевой коррозии и повышает ее скорость. В окислительных средах кислотостойкие хромоникелевые стали, стабилизированные титаном, менее стойки, чем стабилизированные ниобием, которые, в свою очередь, менее стойки, чем с низким содержанием углерода.

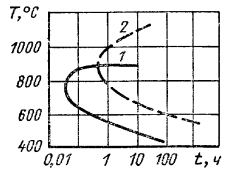


Рис. 4. Границы выделения карбидов типа $M_{23}C_6$ (*1*) и МС (*2*) у сталей типа 12Х18Н10Т, нагретых до 1250° С, в зависимости от температурно-временных условий [2]

Межкристаллитная коррозия алюминиевых сплавов также связана с выпадением избыточных (интерметаллидных) фаз типа $CuAl_2$, Mg_2Al_3, $MgZn_2$ и др.

Точечная коррозия типична для пассивирующихся металлов (хром, алюминий, хромоникелевые стали и др.) и возникает в результате повреждения в отдельных участках пассивной пленки. В сварных соединениях точечной коррозии подвержена преимущественно зона термического влияния.

Коррозионное разрушение сварных соединений в напряженном состоянии [4]. Напряженное состояние влияет на коррозионное поведение металла вследствие: а) сообщения металлу добавочной энергии, в связи с чем иону Me^+ легче покинуть решетку деформированного металла по сравнению с недеформированным; б) нарушения под действием деформации сплошности и защитных свойств поверхностных пленок; в) повышения степени неоднородности, связанной с появлением под действием деформаций дефектов кристаллической решетки и новых анодных фаз.

Скорость коррозии q относительно мало изменяется под влиянием упругих напряжений в нейтральных и щелочных средах, но может заметно (в 2—3 раза) увеличиваться в кислых средах пропорционально напряжениям: $q = q_0 + \alpha\sigma$, где q_0 — скорость без растягивающих напряжений; α — коэффициент пропорциональности. Незначительно влияя на общую коррозию, напряжения интенсифицируют местные виды коррозии, наиболее опасными из которых является растрескивание, вызываемое статическими нагрузками, и коррозионная усталость при циклическом нагружении.

Коррозионное разрушение в напряженном состоянии определяется коррозионными, механическими и сорбционными процессами, а также сопутствующими процессами (кавитация, радиация). Коррозионное растрескивание состоит из двух основных периодов: а) зарождения трещины или инкубационного периода ($t_з$), в течение которого на металлической поверхности под влиянием локализации коррозионного процесса и растягивающих напряжений происходит зарождение первичных коррозионно-механических трещин; б) периода развития трещины ($t_р$), который, в свою очередь, определяется временем докритического (субкритического) роста трещины до ее критических размеров, после чего происходит лавинообразное разрушение. Скорость субкритического роста коррозионных трещин в зависимости от материала, напряжений и среды изменяется в пределах 10—10^{-5} мм/ч,

Постоянное разрушение пленки и интенсивное перемещение раствора при циклическом нагружении может резко повысить скорость разрушения при коррозионной усталости по сравнению с коррозионным растрескиванием.

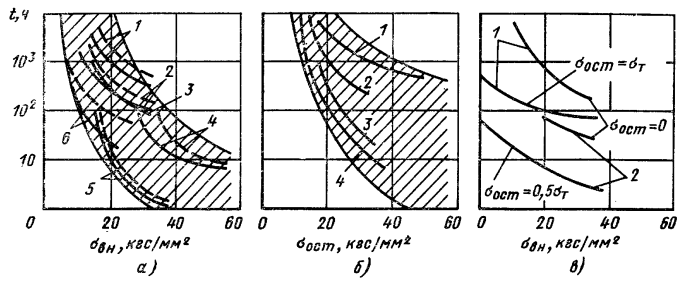


Рис. 5. Влияние напряжений и вида напряженного состояния на коррозионное растрескивание в различных средах (сплошные линии — сварное соединение, штриховые — основной металл):

а — $\sigma_{вн} > 0$, $\sigma_{ост} = 0$; *1*, *4* — одноосный изгиб; *2* — двухосный изгиб, *3*, *5*, *6* — одноосное растяжение; *1*, *2*, *3* — 12Х18Н10Т; *4* — ОТ4; *5* — Ст3сп; *6* — АМг6; *б* — $\sigma_{ост} > 0$, $\sigma_{вн} = 0$: *1* — 12Х18Н10Т; *2* — ВТ1-1; *3* — Ст3сп; *4* — ОТ4; *в* — $\sigma_{вн} > 0$, $\sigma_{ост} > 0$; *1* — 12Х18Н10Т; *2* — ОТ4; среды — см. табл. 3

Разрушения вызываются растягивающими напряжениями. Для большинства сочетаний металл—среда имеются пороговые значения напряжений $\sigma_{пор}$, ниже которых растрескивание не имеет места вообще или на определенной базе испытаний (рис. 5). Пороговые напряжения варьируются в пределах $(0{,}2—1)\sigma_т$ (табл. 2). Сварные соединения растрескиваются интенсивнее по сравнению с основным металлом в связи с воздействием сварочного процесса. Остаточные сварочные напря-

2. Ориентировочные значения отношения пороговых напряжений к пределу текучести некоторых материалов в характерных средах, вызывающих их растрескивание

Материал	Среда	Температура, °С	Основной металл	Сварные соединения
Углеродистые и низколегированные стали	Щелочные растворы	$T > 60$ °С	0,9—1	0,9—1
	Растворы нитратов	Кипение	0,5	0,5
	Среды с сероводородом	Нормальная	0,5—1	0,3—0,5
Коррозионно-стойкие хромоникелевые стали типа 12Х18Н10Т:	Хлориды	Кипение		
отожженные			0,5—0,6	0,4—0,5
деформированные			0,2—0,5	0,2—0,4
Алюминиевые сплавы	Растворы на основе 3%-ного NaCl	Нормальная	0,6	0,5
Титановые α-сплавы	Бромисто-метаноловые		0,5	0,2—0,4

жения без внешней нагрузки могут вызывать интенсивное растрескивание (рис. 5, *б*). В средах, вызывающих растрескивание, действие остаточных напряжений и напряжений от внешней нагрузки суммируется (рис. 5, *в*).

Влияние пластической деформации на коррозионное разрушение не однозначно (рис. 6), так как в результате пластической деформации могут возникать как благоприятные, так и неблагоприятные изменения свойств металла и напряженного состояния. К неблагоприятным относятся: а) повышение внутренней энергии металла; б) возникновение при деформации анодных фаз, дефектов решетки, микро- и макронарушений поверхности и структуры, сопровождающихся

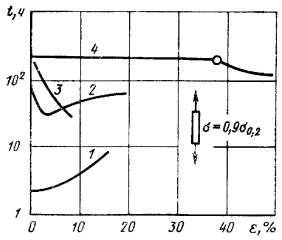


Рис. 6. Влияние предварительной пластической деформации растяжением на время до коррозионного растрескивания стали Ст3сп (*1*), 12Х18Н10Т (*2*), сплава АМг6 (*3*) и деформации сжатием сплава АМг6 (*4*). Коррозионные испытания при постоянной нагрузке $\sigma = 0{,}9\sigma_т$

увеличением и концентрацией напряженности II рода; в) возникновение при неравномерной пластической деформации собственных растягивающих напряжений I рода. Процессами, способствующими повышению стойкости, являются: а) уменьшение, перераспределение и снятие в процессе деформации собственных напряжений I рода, а также возникновение сжимающих напряжений на поверхности; б) более равномерное распределение анодных участков, что уменьшает локализацию коррозионного разрушения. В зависимости от металла и среды, деформационно-силовой схемы, степени деформации и термодеформационных условий превалируют те или иные процессы и имеет место увеличение или уменьшение стойкости металла. Отрицательное влияние концентраторов особенно резко проявляется в средах, в которых металл находится в пассивном или активно-пассивном состоянии. С увеличением агрессивности сред влияние концентратора ослабевает. Чем выше уровень напряженности, тем сильнее проявляется влияние концентраторов при относительно меньшем влиянии среды.

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ КОРРОЗИОННОМУ РАЗРУШЕНИЮ [4]

Методы испытаний можно классифицировать:

1) по целевому назначению: а) исследования с целью выявления механизмов разрушения сварных соединений; б) испытания для обоснованного выбора материала конструкции и технологии изготовления сварного изделия; в) экспертные исследования для выяснения причин отказов конкретных конструкций;

2) по типу испытуемого объекта: а) сравнительные испытания образцов; б) модельные испытания элементов, узлов и макетов, обеспечивающих технологическое и конструктивное подобие конструкции; в) натурные испытания конструкций;

3) по типу испытательных сред: а) для сравнительных ускоренных испытаний (табл. 3); б) производственные;

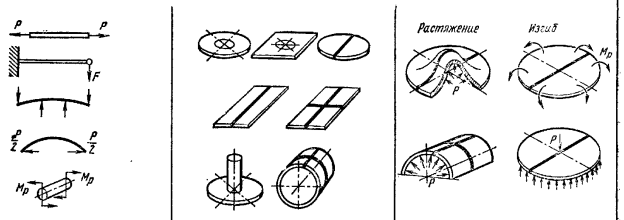
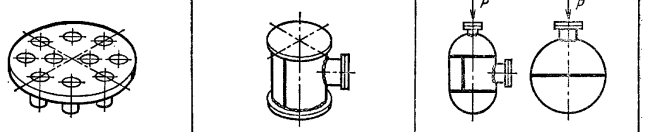
4) по виду напряженного состояния (табл. 4): а) испытания объектов с собственным полем напряжений; б) с напряжениями от внешней нагрузки (постоянная деформация, постоянная нагрузка, заданная скорость деформации, одно-

3. Составы сред, рекомендуемых для ускоренных испытаний сварных соединений на склонность к коррозионному растрескиванию

Материал	Состав среды (водные растворы)	Режим
Углеродистые и низколегированные стали	3—6% NH_4NO_3+50—57% $Ca(NO_3)_2$ 35% NH_4NO_3+45% $Ca(NO_3)_2$ * 25—50% NaOH 50% NH_4NO_3 42% $MgCl_2$	Погружение при кипячении
	3% NaCl 3% NaCl+1% $FeCl_3$ Увлажненный H_2S	Переменное погружение, распыление, погружение
Коррозионно-стойкие хромоникелевые стали	42% $MgCl_2$* 3—6% NH_4NO_3+50—57% $Ca(NO_3)_2$ 110 г/дм³ $CuSO_4$+55 см³/дм³ H_2SO_4	Погружение при кипячении
	10% HNO_3+3%HF	Погружение при 70—80 °С
	3% NaCl Морская вода	Погружение, переменное погружение, распыление в камере
Алюминиевые сплавы	3% NaCl 3% NaCl+0,1% H_2O_2 3% NaCl+1% HCl 3% NaCl+0,1% CH_3COOH +0,1% CH_3COONa* Морская вода	
Магниевые сплавы	3,5% NaCl+2% K_2CrO_4 0,001 н. NaCl	
Титановые сплавы	65—99% HNO_3	Погружение при кипячении и в парах над раствором
	NaCl (кристаллический)	В твердом состоянии при 290 °С
	3% NaCl Морская вода Бромисто-метаноловые среды (1—2,5% Br+0—30% H_2O+остальное CH_3OH) * 20% HCl	Погружение
	2,5—5% HCl	Погружение при кипячении

Примечание. Звездочкой отмечены среды, в которых испытывались материалы, приведенные на рис. 5 и 6.

4. Основные виды нагружения и схемы испытания сварных соединений на коррозию под напряжением

Одноосное напряженное состояние от внешней нагрузки $\sigma_{вн}$	Двухосное напряженное состояние	
	Напряжения остаточные $\sigma_{ост}$	Напряжения от внешней нагрузки и остаточные $\sigma_{вн}$, $\sigma_{вн}+\sigma_{ост}$
Образцы		
Макеты, узлы		

осные, двухосные напряжения, растяжение, изгиб, кручение); в) с суммарным напряженным состоянием от внешней нагрузки и собственных напряжений; г) с концентраторами, без концентраторов.

5) по показателям сопротивляемости разрушению в зависимости от вида коррозионного разрушения (табл. 5).

Для выбора материала и оценки сопротивляемости разрушению предусматривают испытания: 1) для оценки изменения свойств металла под влиянием среды вследствие общей и местной коррозии (гравиметрические, профилографические, механические при растяжении и изгибе, дополнительно электрохимические, физические); эти испытания являются необходимыми, но недостаточными для оценки сопротивляемости металла разрушению в агрессивной среде; 2) в напряженном состоянии с учетом собственных и внешних нагрузок. Сопоставляют свойства без воздействия и при воздействии среды. Свойства сварных соединений целесообразно сопоставлять со свойствами основного металла. Изменение показателя свойств $П$ оценивают относительными коэффициентами $k_м$, $k_с$, $k_{см}$, показывающими изменение свойств соответственно основного металла ($k_м$), сварного соединения ($k_с$) и сварного соединения относительно основного металла ($k_{см}$) (табл. 6):

$$k_м=\frac{П_м}{П_э};\quad k_м\%=\frac{П_э-П_м}{П_э}\cdot 100\%;\quad k_с=\frac{П_с}{П_э};$$

$$k_с\%=\frac{П_э-П_с}{П_э}\cdot 100\%;\quad k_{см}=\frac{П_с}{П_м};\quad k_{см}\%=\frac{П_м-П_с}{П_м}\cdot 100\%,$$

где $П_э$ — эталонное значение показателя сопротивляемости; $П_м$, $П_с$ — соответственно сопротивляемость основного металла и сварного соединения $П_м \in q_и$, $h_м$, $\sigma_м$, $\tau_м$, $\sigma_{пс}$; $П_с \in q_с$, $h_с$, $\sigma_с$, $\tau_с$, $\sigma_{пс}$ и др. Методы коррозионных испытаний сварных соединений на общую коррозию и в напряженном состоянии не стандартизованы. Для оценки стойкости против общей коррозии применяют два основных метода: гравиметрический метод, который заключается в установлении потери или прибавлении массы на единицу площади испытуемого образца в единицу времени [г/(м²·ч)], и профилографический метод, который заключается в определении глубины коррозии специальными профилографами. Для оценки стойкости сварных соединений против коррозии используют образцы: а — из основного металла; б — сварной, содержащий шов и зону структурных превращений; в — сварной, с зоной структурных превращений (з. с. п.) с основным металлом. Размеры образцов 25 × 50, 25 × 70 мм, $F_{обр} = (5 \div 10)\ F_{з.\,с.\,п}$.

5. Показатели коррозии для основных типов коррозионных разрушений сварных соединений

Тип коррозионного разрушения (преобладающий отказ)	Основные методы и способы оценки коррозии	Показатель коррозии
Сплошная (общая) коррозия	Гравиметрический — определение изменения массы	q, г/(м²·ч)
	Профилографический — определение глубины коррозии	h мм/год
	Механический — определение изменения механических свойств: при растяжении	σ, кгс/мм²; δ, %;
	при изгибе	P, кгс; $\alpha°$;
	Электрохимический — определение электродного потенциала	φ, мВ
Местная коррозия: межкристаллитная и избирательная	Механический: при растяжении: при изгибе	σ, кгс/мм²; δ, %; P, кгс; $\alpha°$;
	Определение: глубины поражения металлографическим и профилографическим способами	h, мм/год
язвенная и точечная	глубины	h, мм
	времени до появления поражения	t, ч, дни
	числа коррозионных центров	n
Коррозионная усталость: статическая (коррозионное растрескивание)	Определение: времени и скорости растрескивания	t, ч; $1/t$, 1/год, 1/ч
	величины критических (пороговых) напряжений	$\sigma_{кр}$, кгс/мм²
	коэффициента интенсивности	K_{1scc}, кгс/мм$^{3/2}$
	числа растрескавшихся образцов	n
повторно-статическая и циклическая	условного предела коррозионно-циклической прочности	σ_N, кгс/мм²
	числа циклов до разрушения	$N_р$
	числа циклов до появления трещины	$N_н$

Классификацию металлов по их коррозионной стойкости в отечественной практике производят по десятибалльной шкале в соответствии с табл. 7 (ГОСТ 13819—68). Перевод показателя потерь массы на показатель h — глубину коррозии в мм/год осуществляется по формуле $h=8{,}76\frac{q}{\gamma}$, где q — массовая скорость, г/(м²·ч); γ — плотность, г/см³. Для сварных соединений, подверженных сосредоточенной общей и местной коррозии, определение изменения массы не позволяет оценить коррозионную стойкость сварного соединения. В этих случаях

6. Ориентировочная стойкость металла и сварных соединений против различных видов коррозионных разрушений и соответствующие коэффициенты относительной стойкости;

$$k_{см} \in \frac{q_м}{q_с};\ \frac{h_м}{h_с};\ \frac{\sigma_м}{\sigma_с};\ \frac{\tau_с}{\tau_м};\ \frac{\sigma_{п\ (с)}}{\sigma_{п\ (м)}}$$

Материал	Коррозионная среда	Общая коррозия (ОК)		Местная коррозия (МК) (МКК, ТК)		Коррозионное растрескивание (КР)			Основной вид разрушения сварного соединения
		стойкость основного металла, балл	$\frac{q_м}{q_с}\left(\frac{h_м}{h_с}\right)$	стойкость основного металла	$\frac{h_м}{h_с}\left(\frac{\sigma_м}{\sigma_с}\right)$	стойкость основного металла	$\frac{\tau_с}{\tau_м}$	$\frac{\sigma_{п\ (с)}}{\sigma_{п\ (м)}}$	
Низкоуглеродистая сталь типа Ст3	Атмосфера: природная	3—5	0,6—0,9	С	1	С	—	—	ОК
	промышленная		0,6—0,9						
	Вода: пресная	5—6	0,6—0,8						
	морская	6—8	0,4—0,7						
	Природные среды с сероводородом	4—8	0,6—0,8			Возможно КР			КР, ОК
	Горячие щелочные растворы	3—4	0,8—1,0			КР	0,1—1,0	0,7—1,0	КР
Коррозионностойкие хромоникелевые стали типа 12Х18Н10Т	Природная атмосфера	2—3	0,3—0,5	Возможна ТК		С	—	—	С
	Морская вода	4—5	1	ТК					ТК
	Азотная кислота: 65%-ная (кипение)	5	0,2—1	МКК	0,2—0,9				МКК, НК
	98% (20 °С)	2—3	1	С	1				
	Соляная кислота: 20%-ная (5 °С)	6—7	0,5	ТК	0,3	—			ОК, МК
	42%-ный раствор $MgCl_2$ (кипение)	—	—	—	—	КР	0,05—0,5	0,8	КР

Продолжение табл. 6

Материал	Коррозионная среда	Общая коррозия (ОК)		Местная коррозия (МК) (МКК, ТК)		Коррозионное растрескивание (КР)			Основной вид разрушения сварного соединения
		стойкость основного металла, балл	$\frac{q_м}{q_с}\left(\frac{h_м}{h_с}\right)$	стойкость основного металла	$\frac{h_м}{h_с}\left(\frac{\sigma_м}{\sigma_с}\right)$	стойкость основного металла	$\frac{\tau_с}{\tau_м}$	$\frac{\sigma_{п\ (с)}}{\sigma_{п\ (м)}}$	
Алюминий и его сплавы типа АМг6	Атмосфера: природная	4—5	0,3—0,5	Возможна ТК	1	С	1	1	ТК
	промышленная			То же					
	Азотная кислота 98%-ная (20 °С)	4—5	1	С					МК
	Морская вода, раствор 3%-ный NaCl	4—6	0,5 — 1	Возможна ТК		Возможно КР	0,2—0,8	0,8 — 1	ТК, ОК, КР
Титан и его сплавы	Природная атмосфера и пресная вода	1	1	С	1	С	1	1	Совершенно стоек Возможна КУ
	Морская вода								
	Азотная кислота 65%-ная (кипение)	4—5		Возможна МКК		Возможно КР	0,1—1	0,2—0,4	МКК, КР ОК, КР
	Соляная кислота 20%-ная (50 °С)	6	0,7		-				

Примечание. С — стоек, МКК — межкристаллитная коррозия; ТК — точечная коррозия; КР — коррозионное растрескивание; КУ — коррозионная усталость.

целесообразно определять глубину коррозионного поражения путем снятия профилограмм сварного соединения и изменения механических свойств при растяжении и изгибе, что позволяет оценить снижение несущей способности материала как вследствие общей коррозии, так и вследствие снижения прочностных и пластических свойств, вызываемых местной коррозией, а также охрупчиванием металла при насыщении реагентами среды.

7. Десятибалльная шкала коррозионной стойкости металлов

Группа стойкости	Скорость коррозии, мм/год	Балл стойкости	Массовая скорость г/(м²·ч)	
			Черные металлы	Алюминий и его сплавы
I. Совершенно стойкие	< 0,001	1	< 0,0009	< 0,0003
II. Весьма стойкие	0,001—0,005	2	0,0009—0,0045	0,0033—0,0015
	0,005—0,01	3	0,0045—0,009	0,0015—0,003
III. Стойкие	0,01—0,05	4	0,009—0,0045	0,003—0,015
	0,05—0,1	5	0,045—0,09	0,015—0,031
IV. Пониженно стойкие	0,1—0,5	6	0,09—0,45	0,031—0,154
	0,5—1,0	7	0,45—0,9	0,151—0,31
V. Малостойкие	1,0—5,0	8	0,9—4,5	0,31—1,54
	5,0—10,0	9	4,5—9,1	1,54—3,1
VI. Нестойкие	> 10	10	> 9,1	> 3,1

Испытания на межкристаллитную коррозию аустенитных и аустенито-ферритных сталей регламентированы ГОСТ 6032—75.

Для оценки стойкости сварных соединений против коррозионных разрушений под напряжением (см. табл. 4) испытывают сварные образцы при одноосной внешней нагрузке при постоянном напряжении (растяжение или изгиб), при постоянном деформировании, при непрерывном деформировании для сравнительной оценки материалов, влияния технологических и других факторов; предпочтительны испытания при постоянной нагрузке. Для оценки влияния остаточных сварочных напряжений испытывают образцы двух типов: натурные сварные узлы (например, трубные сварные узлы, трубные решетки с вваренными патрубками) и образцы, имитирующие сварное соединение реальных конструкций (трубчатые образцы с кольцевым и продольным швом, плоские пластины с продольным, крестовым и круговым швом, дисковые образцы с круговым швом, позволяющие на образцах одного типа получать различные виды напряженного состояния от жесткого двухосного до одноосного). Рекомендуемые размеры образца: диаметр образца 100—150 мм при толщине 2—5 мм с осесимметричным швом диаметром 20—40 мм, испытывают также образцы, узлы, макеты, обеспечивающие технологическое и конструктивное подобие реальной конструкции при наличии собственных

напряжений и от внешней нагрузки (статической, повторно-статической, циклической).

Кроме рассмотренных основных методов испытаний, используемых для выбора материала, технологии, конструкции, изучения механизма и скорости коррозионных разрушений сварных соединений применяют металлографические, электронно-графические, электрохимические, фрактографические и другие специальные методы исследований.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И КОНСТРУКЦИЙ КОРРОЗИОННЫМ РАЗРУШЕНИЯМ В АГРЕССИВНЫХ СРЕДАХ

Сопротивляемость сварных соединений повышается:

1) при улучшении свойств металла, определяющих сопротивляемость сварного соединения воздействию агрессивных сред; 2) при улучшении напряженного состояния в сварном соединении и конструкции; 3) при уменьшении степени агрессивного воздействия среды или изоляции сварного соединения от среды; 4) при сочетании этих вариантов.

8. Специальные методы повышения стойкости сварных соединений и конструкций против коррозионных разрушений

Стадия изготовления	Способ улучшения коррозионной стойкости металла сварных соединений путем регулирования химического состава и структуры	Способ улучшения напряженного состояния в сварных соединениях
До сварки	Выбор оптимального состава и улучшение свойств основного металла перед сваркой Регулирование химического состава и структуры шва: подбор рациональных присадочных материалов, проволок, покрытий, флюсов, защитных газов и др.; рациональная конструкция шва	Рациональное конструирование сварных соединений и узлов: правильный расчет; исключение конструктивных концентраторов напряжений; избежание наложения швов в высоконапряженных зонах конструкции; уменьшение величины, жесткости схемы и размеров зон остаточных напряжений Уменьшение общей и местной напряженности: сварка без технологических концентраторов напряжений; рациональная последовательность наложения швов
При сварке	Регулирование термодеформационного цикла сварки и условий кристаллизации: применение рационального метода, способа и режима сварки по погонной энергии и степени концентрации источника тепла; применение тепловых способов регулирования: дополнительный, предварительный, сопутствующий, последующий подогрев или охлаждение при сварке; специальные методы: применение присадочных материалов с развитой поверхностью, ультразвуковая обработка, электромагнитное перемешивание	
После сварки	Улучшение свойств и снятие остаточных сварочных напряжений и деформаций термической, механической, термомеханической, механотермической, ультразвуковой и другими видами обработки Создание сжимающих напряжений на поверхности	

Существуют общие методы повышения стойкости металлических конструкций и специальные (табл. 8) методы, учитывающие особенности сварных соединений и технологию производства сварных конструкций.

Общие методы включают: 1) рациональный выбор и разработку новых свариваемых коррозионно-стойких конструкционных материалов; 2) рациональные конструирование, технологию изготовления и эксплуатацию изделий; 3) применение защитных покрытий—металлических (горячих, гальванических, диффузионных, металлизационных, наплавленных, плакировочных); покрытий, созданных путем химической и электрохимической обработки поверхности (оксидирование, фосфатирование, анодирование, хромирование); неметаллических покрытий органических (органические смазки, лакокрасочные, высокополимерные смазки) и неорганических (цементные и бетонные покрытия, эмали, керамика и др.); 4) применение методов торможения коррозии (обработка коррозионной среды, удаление стимуляторов и введение замедлителей ингибиторов коррозии); электрохимическая защита с подачей внешнего тока (катодная и анодная); применение протекторов.

Основным способом повышения стойкости сварных соединений против общей коррозии является обеспечение катодности (более положительного электродного потенциала) соединения по сравнению с основным металлом (анодом) и минимальной разности потенциалов, т. е.

а) $\Delta\bar{\varphi} \to \min$; $\bar{\varphi}_{ш}$, $\bar{\varphi}_{з} \geqslant \bar{\varphi}_{м}$;

б) $\Delta\varphi_i \to \min$; $\Delta\varphi_{i\,(ш)}$; $\Delta\varphi_{i\,(з)} = |\varphi_{i\,max} - \varphi_{i\,min}|_{ш,з} \approx |\varphi_{i\,max} - \varphi_{i\,min}|_{м} \to \min$.

Эти условия определяются правильным выбором присадочных материалов, конструкции шва, доли участия в формировании шва основного и присадочного материалов, методов и режимов сварки. Изменения технологических методов, применяемых при сварке, относительно мало влияют на коррозионные свойства термически стабильных материалов (табл. 9), но могут существенно влиять на свойства нестабильных материалов.

9. Средняя скорость коррозии основного металла и сварных соединений в природных коррозионных средах, мм/год

Среда	Материал	Метод сварки *	Скорость коррозии	
			Сварное соединение	Основной металл
Городская атмосфера (испытания 4 года)	Ст3сп	Ручная Под флюсом АН348 В CO_2	0,044 0,046 0,041	0,027
	АМг6Н	Аргонодуговая	0,051	0,015
Водопроводная вода (испытания 1 год)	Сталь 20: без покрытия с цинковым покрытием	Ручная В CO_2 Ручная В CO_2	0,14 0,09 0,005 0,004	–
Морская вода (испытания 1 год в Черном море)	Ст4с	Ручная, в CO_2	0,10	0,15
	09Г2			0,20
	10ХСНД		0,30	

* Ручная дуговая сварка производилась электродом УОНИ-13/45; в среде CO_2 – проволокой СВ-08Г2С.

Основными способами повышения стойкости сварных соединений коррозионно-стойких аустенитных сталей против межкристаллитной коррозии являются: а) уменьшение содержания углерода в стали; б) стабилизация стали титаном и ниобием; в) создание в стали двухфазной структуры и содержание второй фазы (~ 5—10%); г) высокие скорости охлаждения металла в области критических температур при сварке, предотвращающие образование карбидов; д) гомогенизирующая обработка сварных соединений — закалка при 1050—1100° С с обязательным быстрым охлаждением или стабилизирующий отжиг в течение 2—4 ч при 850—900° С.

Повышение стойкости против коррозионных разрушений в напряженном состоянии связано в основном с выбором материала и улучшением напряженного состояния.

Способы повышения сопротивляемости сварных соединений коррозионным разрушениям рассмотрены в работах [4, 6, 7].

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ

В расчетах элементов сварных конструкций, работающих в агрессивных средах, следует учитывать: 1) влияние физико-химического воздействия сварки на металл, качество сварного соединения и его конструкцию; 2) воздействие агрессивной среды; 3) доминирующий тип отказов (общая коррозия, МКК, коррозионное растрескивание).

Расчет можно производить по несущей способности из условий прочности и местной повреждаемости, а также сочетания этих предельных состояний.

Для случаев общей коррозии может быть использован метод расчета по допускаемому напряжению при растяжении с учетом изменения свойств металла под действием сварки и среды. Расчетная величина напряжений в сварных соединениях в этом случае

$$\sigma_{расч} \leqslant [\sigma'_р]^k = \sigma_{доп} \frac{|k_{см}|_\sigma |k^k_с|_\sigma}{k^k_{эф}},$$

где $\sigma_{доп}$, $[\sigma'_р]^k$ — допускаемые напряжения основного металла в исходном состоянии и сварного соединения при коррозии; $|k_{см}|_\sigma$ — коэффициент снижения прочности сварного соединения по сравнению с основным металлом в исходном состоянии; $|k^k_с|_\sigma$ — коэффициент, характеризующий снижение прочности сварного соединения вследствие воздействия коррозионной среды; $k^k_{эф}$ — эффективный коэффициент концентрации при коррозии. Приближенно $k^k_{эф} \approx 1 + \beta^k (k_т - 1)$, где β^k — чувствительность металла к надрезу в среде; $k_т$ — теоретический коэффициент концентрации.

Например, толщина обечайки S и допускаемое давление $p_{доп}$ сосуда или аппарата, работающего под давлением, в соответствии с изложенными соображениями могут быть

$$S = \frac{pD}{2[\sigma'_р]^k - p} + C_с + C_1; \quad p_{доп} = \frac{2[\sigma'_р]^k (S - 2C_с)}{D + S - C_с}$$

(формулы применимы при условии $\frac{S-C}{D} \leqslant 0{,}1$); D — внутренний диаметр сосуда или аппарата; $C_с$ — припуск на коррозию сварного соединения; C_1 — дополнительный припуск по технологическим, монтажным и другим соображениям; $C_с = \frac{C}{|k^k_{см}|_h}$; C — припуск на коррозию основного металла; $|k^k_{см}|_h$ — коэф-

фициент, характеризующий изменение глубинного показателя коррозии сварного соединения по сравнению с основным металлом. Для определения эквивалентного напряжения можно воспользоваться энергетической теорией, в соответствии с которой

$$\sigma_{экв}=\frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_1+\sigma_2)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2+(\sigma_3-\sigma_1)^2};$$

для двухосного напряженного состояния $\sigma_{экв}=\sqrt{\sigma_1^2-\sigma_1\sigma_2+\sigma_2^2}$.

При опасности коррозионного растрескивания конструкцию следует рассчитывать: а) по величине допускаемого напряжения $[\sigma'_p]^k$ для данной среды; б) по величине критических напряжений $\sigma_{кр}$, вызывающих возникновение и развитие коррозионной трещины; в) по предельно допускаемой глубине коррозионной трещины или дефекта типа трещины. Расчетные напряжения определяют исходя из наиболее жесткого условия.

Расчет по допускаемому напряжению $[\sigma'_{кр}]^k$, определяемому для данной среды в соответствии с приведенными выражениями, является необходимым, но недостаточным условием прочности конструкции, если $\sigma_{кр}<[\sigma'_p]^k$.

В свою очередь, в зависимости от кинетики коррозионного растрескивания следует принимать во внимание два предельных напряженных состояния: а) предельное напряженное состояние, вызывающее возникновение и начало докритического роста трещины; это напряженное состояние характеризуется величиной пороговых напряжений $\sigma_{пор}$, ниже которых в элементах конструкции, не имеющих начальных дефектов типа трещин, коррозионного растрескивания не наступает, и предельным напряжением $\sigma^k_{кр}$, соответствующим предельному коэффициенту интенсивности напряжений K_{1scc} в материале, имеющем начальные дефекты; б) предельное напряженное состояние, соответствующее переходу докритического роста трещины в лавинное механическое разрушение. Это состояние характеризуется соответствующим критическим напряжением $\sigma_{кр}$ и связанным с ним коэффициентом интенсивности K_c. Условиями прочности в первом случае являются $\sigma_{расч}\leqslant\sigma_{пор}$ $(\sigma^k_{кр})$, $K_1\leqslant K_{1scc}$; во втором случае $\sigma_{расч}\leqslant\sigma_{кр}$, $K_1\leqslant K_{1c}$.

При выборе допускаемого предельного напряженного состояния (из условий предотвращения образования трещины или разрушения) следует исходить из требований, предъявляемых к конструкции, заданного ресурса работы и кинетики развития коррозионной трещины для данной пары металл—среда.

В случае $t_{зар}\approx t_{разв}$, т. е. малого периода докритического роста трещины, расчет необходимо производить из первого условия—недопущения трещины. В случае продолжительной фазы докритического роста трещины расчет производят как по первому условию ($\sigma_{пор}$, $\sigma^k_{кр}$, K_{1scc}), так и по второму ($\sigma_{кр}$, K_{1c}) с учетом заданного ресурса работы конструкции.

В случае опасности коррозионного растрескивания в расчете необходимо учитывать остаточные сварочные напряжения, так как тогда действует принцип суперпозиции. Поэтому должно выдерживаться условие $\sigma_{вн}+\sigma_{ост}\leqslant\sigma_{пор}$, т. е. $\sigma_{ост}\leqslant\sigma_{пор}-\sigma_{вн}$, откуда следует, что для повышения работоспособности конструкции необходимо принимать меры для снижения остаточных напряжений.

Таким образом, при расчете:

1) устанавливают и сопоставляют допускаемые растягивающие напряжения из условия прочности $[\sigma^k_c]_p$ и допускаемые пороговые напряжения в данной среде $[\sigma_{пор}]$;

2) если $[\sigma^k_c]_p<[\sigma_{пор\,c}]$, то исполнительные элементы конструкции рассчитывают из условий прочности по $[\sigma^k_c]_p$, затем определяют допускаемый уровень остаточных напряжений $[\sigma_{ост}]\leqslant[\sigma_{пор\,c}]-[\sigma^k_c]_p$;

3) если $[\sigma^k_c]_p>[\sigma_{пор\,c}]$, то расчет ведут из условия предотвращения растрескивания по $[\sigma_{пор\,c}]$; в этом случае необходимо предусмотреть меры для полного снятия остаточных напряжений.

Критические нагрузки $\sigma_{кр}$ при заданной величине l трещиноподобного дефекта определяются из выражения

$$\sigma^k_{кр}=\frac{K_{1scc}}{\sqrt{lM}};\quad \sigma_{кр}=\frac{K_{1c}}{\sqrt{lM}}.$$

Критические размеры трещиноподобных дефектов $l^k_{кр}$, при которых начинает развиваться коррозионная трещина или наступает разрушение $l_{кр}$, определяются из выражения $l^k_{кр}=\frac{K^2_{1scc}}{\sigma^2M}$; $l_{кр}=\frac{K^2_{1c}}{\sigma^2M}$, где M — функция, зависящая от геометрической формы, расположения трещины и вида напряженного состояния элемента конструкции [5].

Расчет при циклическом нагружении ведут по условному пределу выносливости σ_N на ограниченной базе испытаний и по допускаемому числу циклов нагружения N в период эксплуатации конструкции исходя из числа циклов до появления трещины $N_{тр}$, общей долговечности N_p (числа циклов до разрушения), а также живучести $N_ж=N_p-N_{тр}$, числа циклов, в течение которых происходит субкритический рост трещины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Жук Н. П.** Курс теории коррозии и защиты металлов. М., Металлургия, 1976. 472 с.
2. **Княжева В. М., Чигал В., Колотыркин Я. М.** Роль избыточных фаз в коррозионной стойкости нержавеющих сталей. — Защита металлов, Т. XI, 1975, № 5, с. 531—552.
3. **Розенфельд И. Л., Жигалова И. Л.** Ускоренные методы коррозионных испытаний металлов. М., Металлургия, 1966. 348 с.
4. **Стеклов О. И.** Прочность сварных конструкций в агрессивных средах. М., Машиностроение, 1976. 200 с.
5. **Черепанов Г. П.** Механика хрупкого разрушения. М., Наука, 1974. 640 с.
6. **Черток Ф. К.** Коррозионный износ и долговечность сварных соединений. Л., Судостроение, 1977. 144 с.
7. **Юрченко Ю. Ф., Агапов Г. И.** Коррозия сварных соединений в окислительных средах. М., Машиностроение, 1976. 150 с.

Глава 8

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

ДОПУСКАЕМЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ И ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЕ С УЧЕТОМ УСЛОВИЙ РАБОТЫ И СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА

Несущую способность сварных конструкций определяют в зависимости от напряжений, вызывающих текучесть. Напряжения находят методами науки о сопротивлении материалов, теории упругости и пластичности. В сложнонапряженном поле определяют эквивалентные напряжения и сравнивают их с допускаемыми. Нередко расчет ведут по заданным нагрузкам.

Коэффициент запаса прочности относительно предела текучести в случае действия статических сил устанавливается равным 1,35—1,50 и более. При применении упрощенных приемов расчета коэффициент запаса повышается, при более полном учете сил уменьшается. На допускаемые напряжения влияют специфические условия работы, анализ эксплуатационных условий и т. д. Коэффициент запаса прочности — фактор технико-экономический.

Для строительных конструкций используют термин расчетное сопротивление R. Расчетное сопротивление определяют либо путем деления $\sigma_т$ на коэффициент запаса $k_т$ (по наступлении текучести), либо делением $\sigma_в$ на коэффициент запаса $k_в$ (по разрушающему напряжению). Коэффициент запаса $k_в > k_т$. Расчетное сопротивление R принимают равным $\sim$ 0,9 предела текучести металла согласно табл. 1.

При расчете прочности допускаемое продольное усилие на элемент

$$N = R\frac{m}{n}F. \qquad (1)$$

Допускаемый момент на элемент

$$M = R\frac{m}{n}N, \qquad (2)$$

где n — коэффициент возможной перегрузки; m — коэффициент условий работы, учитывающий особенности работы целых конструкций и отдельных элементов.

Произведение $R\frac{m}{n}$ представляет собой величину допускаемого напряжения $[\sigma]_р$, которое является дифференцированным и установлено обобщением опытного материала.

Коэффициенты условий работы элементов согласно СНиП имеют следующие значения: $m = 0{,}9$ в колоннах жилых и общественных зданий, а также в подкрановых балках под краны грузоподъемностью $\geqslant 5$ т; $m = 0{,}8$ в сжатых основных элементах ферм при их гибкости $\lambda \geqslant 80$, $m = 0{,}75$ в сжатых элементах ферм из одиночных уголков.

При расчете сварных конструкций по нормативам Министерства строительного, дорожного и коммунального машиностроения коэффициенты условий работы изделий рекомендуется находить по соотношению $m = m_1m_2m_3$, где m_1 учитывает степень ответственности узла. В узлах ответственного назначения $m_1 = 0{,}9$; в менее ответственном $m_1 = 1$; $m_2 = 0{,}9 \div 1$ определяется возможностью дополнительной деформации тонкостенных элементов; $m_3 = 0{,}75 \div 0{,}90$ учитывает наличие дополнительных напряжений от изгиба в односторонне прикрепленных элементах (угловых профилях, швеллерах и т. д.).

Чем меньше эксцентриситет прикрепления, тем больше m_3. При неблагоприятном сочетании трех указанных факторов m снижается до 0,6.

По нормам ВНИИПТМАШа принимают следующие значения расчетных сопротивлений для сталей:

Сталь	Ст3	09Г2	09Г2С	10Г2С1	15ХСНД	10ХСНД
Расчетное сопротивление, кгс/см²	2100	2500	2600	2900	3400	4000

Приведенные значения рекомендуется снижать с увеличением толщины металла, с учетом влияния геометрических размеров на качество проката.

Согласно нормам для расчета и изготовления металлоконструкций, принятым во Франции, допускаемое напряжение в изделиях из низкоуглеродистой стали варьируют в пределах 2/3 — 3/4 от предела текучести. При расчете сварных строительных металлоконструкций из стали обыкновенного качества $[\sigma]_р = 1600$ кгс/см² без учета ветровых нагрузок и 1800 кгс/см² с учетом ветровых нагрузок.

Согласно стандарту ГДР (стальные несущие конструкции) допускаемое напряжение в сталях при статических нагрузках принимают 0,75 от предела текучести.

Расчетные сопротивления в сварных соединениях приведены в табл. 2.

Допускаемые напряжения в сварных швах в машиностроительных конструкциях установлены в зависимости от рода усилия и технологического процесса сварки в функции $[\sigma]_р$ допускаемого напряжения в основном металле при работе на растяжение (табл. 3).

Согласно нормам, принятым в Австралии, допускаемые напряжения в стыковых швах при статической нагрузке принимают равными допускаемым напряжениям основного металла при условии, что предел текучести шва равен пределу текучести основного металла.

Согласно нормам ГДР при расчете сварных соединений были установлены допускаемые напряжения, приведенные в табл. 4.

Соединения, выполненные контактной сваркой, рассчитывают по допускаемым напряжениям, установленным для стыковых соединений, сваренных электродуговой автоматической сваркой.

Допускаемые напряжения для точечных соединений, выполненных контактной сваркой, установлены техническими условиями в зависимости от рода материала.

1. Расчетные сопротивления R в прокате, кгс/см²

Напряженное состояние	Сопротивления	Сталь класса						
		$C^{38}/_{23}$	$C^{44}/_{29}$	$C^{44}/_{33}$	$C^{52}/_{40}$	$C^{60}/_{45}$	$C^{70}/_{60}$	$C^{85}/_{75}$
Растяжение, сжатие и изгиб	R	2100 (2600) 1300	2600 (3000) 1500	2900 (3100) 1700	3400 2000	3800 2300	4400 2600	5300 3100
Срез	$R_{ср}$							
Смятие торцовой поверхности (при наличии пригонки)	$R_{см}$	3200	3900	4300	5100	5700	6500	8000

Примечание. В скобках указаны значения R для конструкций, эксплуатация которых возможна и после достижения металлом $\sigma_т$

2. Расчетные сопротивления, кгс/см²

Напряженное состояние	Сталь класса						
	$\frac{C38}{23}$	$\frac{C44}{29}$	$\frac{C46}{33}$	$\frac{C52}{40}$	$\frac{C60}{45}$	$\frac{C70}{60}$	$\frac{C85}{75}$
Сжатие	2100	2600	2900	3400	3800	4400	5300
Растяжение: автоматическая сварка, полуавтоматическая и ручная с физическим контролем качества	2100 (2600)	2600 (3000)	2900 (3100)	3400	3800	4400	5300
полуавтоматическая и ручная сварка	1800	2200	2500	–	–	–	–
Срез угловых швов	1500	1800	2000	2200	2400	2800	3400
Срез всех остальных швов	1300	1500	1700	2000	2300	2600	3100

Допускаемое усилие на точку при сварке стали толщиной s обыкновенного качества согласно нормам, принятым в Австралии, следующее:

s_{min}, мм	0,30	0,40	0,50	0,60	0,80	1,00	1,2	1,6	2,0	2,5	3,0	4,0
P, кгс	28	39	52	68	105	148	196	230	445	635	835	1280

Допускаемые напряжения при расчете проплавных электрозаклепок не должны превышать $0{,}5\,\sigma_т$ при работе конструкций под статической нагрузкой.

3. Допускаемые напряжения в сварных швах в функции $[\sigma_р]$

Тип шва	Род усилия	Виды сварки: Ручная: без обработки	Ручная: с подваркой корня	Автоматическая, полуавтоматическая, электроды с маркой А
Стыковые	Растяжение	0,8	0,9	1,0
	Сжатие	0,9	1,0	1,0
Стыковые и угловые	Срез τ'	0,6	0,65	0,65

Примечание. $[\sigma]_р$ – допускаемое напряжение в основном металле при растяжении.

Допускаемые напряжения и расчетные сопротивления в конструкциях, работающих под переменными нагрузками, см. гл. 4.

РАСЧЕТ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ОСНОВНЫХ ТИПОВ НА СТАТИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ

При действии продольной силы в стыковых соединениях, выполненных дуговой сваркой, контактной, электронно-лучевой и т. д., распределение напряжений по длине и толщине шва принимают равномерным. Напряжения в стыковых соединениях при сжатии и растяжении

$$\sigma = \frac{N}{ls} \leqslant [\sigma]_{р}'_{.сж}, \qquad (3)$$

где N — продольная сила в соединении; l — длина шва; s — наименьшая толщина элементов; $[\sigma]_{р}'_{.сж}$ — допускаемое напряжение стыкового соединения при напряжении сжатия или растяжения.

При отсутствии вывода концов шва за пределы стыка рекомендуется расчетную длину шва принимать на 10 мм меньше его полной длины.

Сварные стыковые соединения, работающие на изгиб, рассчитывают по формуле, установленной для целого сечения. При одновременном действии напряжений σ_x, σ_y и τ расчет производят по формуле

$$\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x\sigma_y + 3\tau^2} \leqslant 1{,}15\,[\sigma]_р'. \qquad (4)$$

4. Допускаемые напряжения для сталей, кгс/мм²

Тип шва и способ контроля	Вид нагрузки	Без учета основных нагрузок: St-37	Без учета основных нагрузок: St-52	С учетом основных и дополнительных нагрузок: St-37	С учетом основных и дополнительных нагрузок: St-52
Стыковой шов, рентгеновский контроль: 100%	Растяжение осевое и при изгибе	16,0	24,0	16,0	24,0
	Срез	9,0	13,5	10,5	15,5
50%	Растяжение осевое и при изгибе	14,0	21,0	16,0	24,0
	Срез	9,0	13,5	10,5	15,5
То же, без рентгеновского контроля	Растяжение осевое и при изгибе	11,0	17,0	13,0	19,0
	Срез	9,0	13,5	10,5	15,5
Угловые швы	Срез	9,0	13,5	10,5	15,5

Напряжение в угловых и косых швах

$$\tau = \frac{P}{\beta K l} \leqslant |\tau'|. \qquad (5)$$

K — катет углового шва; $\beta = 0{,}7 \div 1$ — коэффициент, учитывающий глубину проплавления; $[\tau']$ — допускаемое напряжение в угловом шве.

При одновременном действии в одном и том же сечении углового шва срезывающих напряжений в двух направлениях равнодействующая этих напряжений

$$\tau_р = \sqrt{\tau_x^2 + \tau_y^2}. \qquad (6)$$

Для сварных нахлесточных соединений из двух фланговых швов, направленных вдоль усилия,

$$\tau = \frac{P}{2\beta K l}. \qquad (7)$$

В комбинированном соединении

$$\tau = \frac{P}{\beta K L},$$

где L — полная длина угловых швов нахлесточного соединения.

Сварные швы, прикрепляющие уголок, рассчитывают с учетом усилий, передаваемых фланговыми швами. При напряжениях в лобовом и фланговых швах, равных τ, полная требуемая длина швов, прикрепляющих уголок,

$$L = \frac{N}{\beta_1 K |\tau'|}. \qquad (8)$$

Требуемая длина обоих фланговых швов, приваривающих уголок, $L_{фл} = L - l_{лоб}$. Длина шва, примыкающего к обушку равнобокого уголка, $l_1 = 0{,}7\,L_{фл}$. Длина противоположного флангового шва $l_2 = 0{,}3\,L_{фл}$. Длина флангового шва l_2 может быть более требуемой.

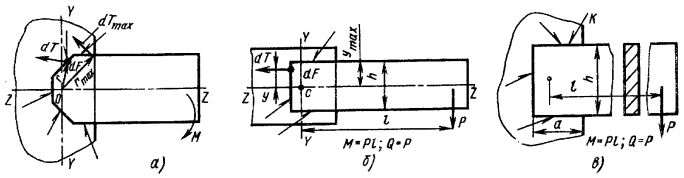
Сварные швы, прикрепляющие элемент и расположенные в плоскости его действия, рассчитывают на изгибающий момент M по одному из трех способов.

1. По полярному моменту инерции, предполагая, что элемент может поворачиваться вокруг геометрического центра соединения (рис. 1, *а*).

При этом расчетное напряжение

$$\tau = \frac{M}{J_p} r_{max}, \tag{9}$$

где J_p — полярный момент инерции; $J_p = J_y + J_z$; J_y — момент инерции соединения относительно оси $Y-Y$; J_z — момент инерции относительно оси $Z-Z$; r_{max} — расстояние от центра до наиболее удаленной точки шва.



а) *б)* *в)*

Рис. 1. Схемы для определения напряжений по способам:

а — полярного момента инерции; *б* — осевого момента инерции; *в* — расчленения соединения на составляющие

2. По осевому моменту инерции, предполагая, что напряжения в швах пропорциональны расстоянию до нейтральной оси элемента (рис. 1, *б*). При этом

$$\tau = \frac{M}{J_z} y_{max}. \tag{10}$$

Если вместе с M на соединения в направлении $Y-Y$ действует поперечная сила Q, то напряжения

$$\tau_Q = \frac{Q}{\beta K h}, \tag{11}$$

где h — длина вертикального шва.

Результирующие напряжения

$$\sqrt{\tau^2 + \tau_Q^2} \leqslant |\tau'|. \tag{12}$$

При действии сил Q и N (в направлении $Z-Z$) результирующие напряжения

$$\sqrt{(\tau + \tau_N)^2 + \tau_Q^2} \leqslant |\tau'|, \tag{13}$$

где

$$\tau_N = \frac{N}{\beta K L}, \tag{14}$$

L — длина периметра швов, входящих в соединение.

3. По принципу расчленения соединения на составляющие. Часть момента воспринимается вертикальными швами, другая часть — горизонтальными. Расчетные напряжения

$$\tau = \frac{M}{\beta K h^2/6 + \beta K (h+k)} \leqslant |\tau'|, \tag{15}$$

где $h + K$ — расстояние между швами (рис. 1, *в*).

При действии M, Q и N результирующие напряжения

$$\tau_p = \sqrt{\left(\tau + \frac{N}{L\beta K}\right)^2 + \left(\frac{Q}{\beta K h}\right)^2} \leqslant |\tau'|. \tag{16}$$

Напряжения элемента двутаврового профиля, приваренного швами, расположенными в плоскости перпендикулярной к оси элементов,

$$\tau = \frac{M}{J_x} y_{max} \leqslant |\tau'|, \tag{17}$$

где J_x — момент инерции швов, расположенных по периметру, с учетом коэффициента β.

При действии M и Q напряжения на уровне верхнего листа

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{M}{J_x}\frac{h_в}{2}\right)^2 + \left(\frac{Q}{h_в s_в}\right)^2} \leqslant |\tau'|, \tag{18}$$

где $h_в$ и $s_в$ — соответственно высота и толщина вертикального листа.

В соединении, показанном на рис. 2, напряжения можно определять, условно предполагая, что они достигают одинаковых значений τ в вертикальных и горизонтальных угловых швах, а также в стыковых швах.

При этом

$$\tau = \frac{M}{2\beta K h_в^2/6 + 4\beta K (a-K)(h_в - K) + 2F_г \left(\frac{h_в + s_г}{2}\right)^2} \leqslant |\tau'|, \tag{19}$$

где a — длина продольного углового шва; $F_г$ — площадь сечения горизонтального листа; $s_г$ — толщина горизонтального листа.

Для элемента с открытым профилем (двутавр, тавр), приваренным по контуру угловыми швами, работающими на кручение,

$$\tau = \frac{M_{кр} K_{max}}{\alpha \Sigma \nu K_i^3 a_i} \leqslant |\tau'|, \tag{20}$$

где K_{max} — наибольший катет шва.

α равно 0,3 для двутаврового и 1,0 — для уголкового профиля;

ν — коэффициент, зависящий от отношения K_i/a_i; может быть приближенно принят равным 0,33; K_i и a_i — соответственно катет и длина i-го шва.

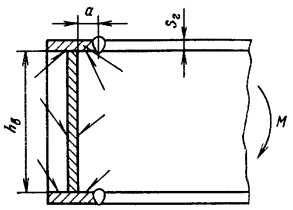


Рис. 2. Схема для расчета соединений балок при изгибе

Рекомендуемый диаметр точек при контактной сварке приведен в табл. 5.

Для практических целей используют следующее выражение:

$$d = 1{,}4\left(\sqrt{0{,}01t^2 + ts} - 0{,}1t\right). \tag{21}$$

Рекомендуемые параметры сварных точечных соединений низкоуглеродистых и легированных сталей приведены в табл. 6.

Соединение, сваренное точечной контактной сваркой, работающее на продольное усилие, рассчитывают по условию, что усилие на одну точку

$$N_t = \frac{N}{i}, \tag{22}$$

где N — продольное усилие в соединении; i — число точек.

5. Минимальный диаметр ядра точки d, мм

Толщина наиболее тонкой детали пакета, мм	Низкоуглеродистые и низколегированные стали	Коррозионно-стойкие и жаропрочные стали, титан	Легкие сплавы
0,3	2,0	2,5	—
0,5	2,5	2,5	3,0
0,6	2,5	3,0	—
0,8	3,0	3,5	3,5
1,0	3,5	4,0	4,0
1,2	4,0	4,5	5,0
1,5	5,0	5,5	6,0
2,0	6,0	6,5	7,0
2,5	6,5	7,0	8,0
3,0	7,0	8,0	9,0
4,0	9,0	10,0	12,0

6. Рекомендуемые параметры точечных соединений, мм

Толщина наиболее тонкой детали пакета	Минимальная ширина нахлестки или отбортовки		Рекомендуемое расстояние между		Минимальное расстояние от центра сварной точки до кромки нахлестки
	при однорядном шве	при двухрядном шве	рядами сварных точек	сварными точками (шаг)	
0,5	10	16	6	15	5
0,8	10	18	8	18	5
1,0	12	20	8	20	6
1,2	14	22	8	22	7
1,5	16	24	8	25	8
2,0	18	28	10	30	9
3,0	20	37	16	40	10
4,0	24	42	18	50	12

Допускаемые усилия на точку определяются при расчете ее на срез.

В точке с одной плоскостью среза расчетные напряжения

$$\tau=\frac{4N}{\pi d^2}\leqslant|\tau'_0|; \tag{23}$$

в точке с двумя плоскостями среза

$$\tau=\frac{2N}{\pi d^2}\leqslant|\tau'_0|, \tag{24}$$

где d — диаметр ядра точки; $|\tau'_0|$ — допускаемое напряжение при срезе, которое можно принимать равным $0{,}4|\sigma_р|$ или на основе результатов экспериментов.

При расчете точки на отрыв нормальное напряжение

$$\sigma=\frac{4N}{\pi d^2}\leqslant|\sigma'_0|; \tag{25}$$

$|\sigma'_0|$ принимают, как правило, на основе данных экспериментов еще более низким, чем при испытании на срез.

При работе i точек (рис. 3, *а*) для передачи момента усилия на точку

$$N_1=\frac{M}{i\Sigma y^2}, \tag{26}$$

где y — расстояние от точки до нейтральной оси.

При совместном действии M и Q результирующее усилие на точку (рис. 3,*б*) $N_р=\sqrt{N_1^2+N_Q^2}$, $N_Q=Q/i$. Соединение (рис. 3, *в*) может быть рассчитано по формуле

$$N_i=\frac{M}{\Sigma r_i^2}r_{max}, \tag{27}$$

где r_i — расстояние от i-й точки до геометрического центра соединения.

Напряжения в паяных соединениях встык

$$\sigma=\frac{N}{F}\leqslant|\sigma'|_р, \tag{28}$$

где $|\sigma'|_р$ — допускаемое напряжение паяных швов при растяжении (сжатии); F — площадь сечения основного элемента.

Напряжения в паяных соединениях внахлестку (рис. 4, *а*)

$$\tau=\frac{N}{F}\leqslant|\tau'|, \tag{29}$$

где $|\tau'|$ — допускаемое напряжение при срезе в паяном шве; $F=la$ — площадь спая; l и a — соответственно длина и ширина спая.

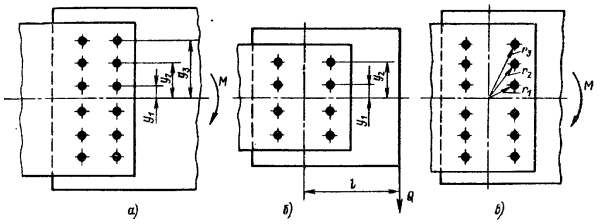


Рис. 3. Схемы для расчета элементов, соединенных точками:
а — на изгиб; *б* — на изгиб и поперечную силу; *в* — на изгиб по способу $J_р$

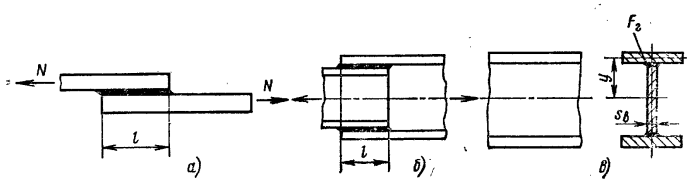


Рис. 4. Схемы для расчета паяных соединений

В соединениях труб (рис. 4, *б*) напряжение

$$\tau=\frac{N}{\pi dl}\leqslant|\tau'|. \tag{30}$$

В изгибаемых элементах (рис. 4, *в*) в спае под действием силы Q касательные напряжения

$$\tau=\frac{QS}{Js_в}\leqslant|\tau'|, \tag{31}$$

где Q — расчетная поперечная сила; $S=F_1y$ — статический момент площади горизонтального листа относительно центра тяжести сечения; y — расстояние от центра горизонтального листа до центра тяжести сечения; J — момент инерции всего сечения элемента; $s_в$ — толщина вертикального листа.

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ

При проектировании сварных металлоконструкций следует руководствоваться следующими общими положениями:

— выбирать рациональные системы и схемы конструкций на основе оптимизации;

— правильно назначать вид материалов: сталей, цветных сплавов;

— обеспечивать прочность при минимальных затратах металла, что в значительной мере обеспечивает экономичность;

— по возможности использовать типизированные схемы конструкций и профили элементов;

— применять экономичные профили проката, а также гнутые и штампованные элементы, трубчатые профили;

— применять прогрессивные системы конструкций (оболочковые, с предварительным натяжением), обеспечивать монтаж крупными блоками и т. д.;

— предусматривать противокоррозионную защиту объектов;

— параллельно с конструкцией проектировать технологические методы ее изготовления, предусматривать возможность комплексной автоматизации и механизации изготовления, применять прогрессивные процессы дуговой и контактной сварки, а также специальных методов сварки, например, радиочастотной, взрывом, электрошлаковой и т. д.;

— при проектировании учитывать особые свойства сварных соединений; устранять концентрацию напряжений, вести борьбу с остаточными напряжениями, деформациями, хрупкими разрушениями, разрушениями в процессе сварки, при необходимости предусматривать термическую обработку;

— при расчете учитывать силовые факторы, их сочетание, с использованием ЭВМ определять усилия в сложных статически неопределимых системах, а также в отдельных случаях по методу пластических деформаций;

— при проектировании сварных соединений при дуговой сварке учитывать целесообразность укладки швов на горизонтальной плоскости при минимальном числе кантовок и удобном подходе к швам; избегать концентрации большого числа швов в одном месте;

— разделку кромок под сварку предусматривать с учетом технологического процесса согласно ГОСТ 8713—70 «Швы сварных соединений, автоматическая и полуавтоматическая сварка под флюсом»; ГОСТ 14771—76 «Швы сварных соединений, электродуговая сварка в среде защитных газов»; ГОСТ 5264—69 «Швы сварных соединений; ручная, дуговая сварка»;

— толщина K угловых швов должна быть не менее 4 мм, если толщина основного металла $\geqslant 4$ мм и не более 1,2 s_{min}; зависимость K_{min} от толщины соединяемых элементов дана в гл. 1;

— минимальная расчетная длина флангового шва $l_{min} = 4K$, но не менее 40 мм; наибольшая расчетная длина флангового шва $60K$ за исключением случаев, если усилие на фланговый шов передается на всем его протяжении; расстояние между лобовыми швами в нахлесточных соединениях $\geqslant 5s$, где s — толщина соединяемых частей;

— отношение катетов угловых швов, как правило, составляет 1/1; в конструкциях, испытывающих вибрационные нагрузки, работающих при T ниже —40 °С, и в конструкциях из сталей С60/45 и С85/75 отношение катетов целесообразно назначать 1/1,5;

— устройство стыков без полного перекрытия швами не допускается; при стыковой сварке элементов разных толщин обеспечивать плавный переход от s_{min} к s_{max}, предусматривать скосы с уклоном не более 1/5; исключение допускается для соединений, у которых разность толщин < 4мм, а уступ меньше $1/8\ s_{min}$.

Применение комбинированных соединений, у которых часть усилия воспринимается швами, а другая часть заклепками, не допускается.

В конструкциях из сталей С60/45 и более прочных сталей, работающих при $T \leqslant 40$ °С, стыковые швы, как правило, соединяют двусторонней сваркой.

БАЛКИ

Наиболее часто применяют сварные балки двутаврового (рис. 5, *а*) и коробчатого (рис. 5, *б* и *в*) профилей; более редко — профилей, указанных на рис. 5, *г*. Поперечные сечения балок иногда изменяют по длине, если последняя значительна. В некоторых случаях изменяют толщину или ширину горизонтальных листов (рис. 6, *а*). Применяют несколько пар горизонтальных листов, если толщина каждого из них $\geqslant 30$—35 мм. При этом в менее нагруженных участках число

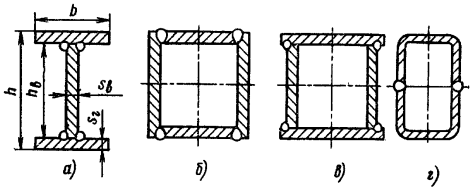


Рис. 5. Поперечные сечения сварных балок

листов уменьшают (рис. 6, *б*). Иногда изменяют высоту вертикальных листов (рис. 6, *в*).

В балках предельная величина $\frac{f_{max}}{l}$ регламентируется нормами, где f_{max} — наибольший прогиб; l — пролет балки.

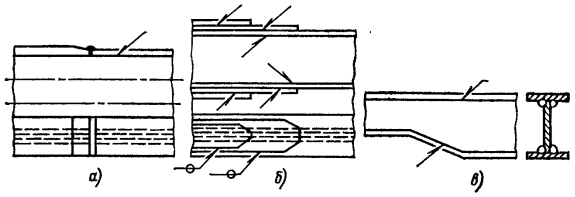


Рис. 6. Балки с переменными поперечными сечениями, в которых изменяются:

а — толщина листов; *б* — число листов в поясах; *в* — высота балки

Нормы жесткости для балок разных назначений различны, например, жесткость подкрановых балок обычно больше, чем балок в междуэтажных перекрытиях.

Предельные прогибы изгибаемых элементов строительных конструкций промышленных зданий приведены ниже.

Элементы конструкции	Предельные прогибы в долях пролета
Подкрановые балки и фермы	
при ручных кранах	1/500
при электрических кранах грузоподъемностью $\leqslant 50$ т	1/600
то же, грузоподъемностью > 50 т	1/750
Монорельсовые пути	1/400
Балки рабочих площадок производственных зданий:	
главные, при отсутствии рельсовых путей	1/400
прочие	1/250
при наличии узкоколейных путей	1/400
то же, рококолейных путей	1/600
Балки междуэтажных перекрытий:	
главные	1/400
прочие	1/250
Балки покрытий и чердачных перекрытий:	
главные фермы	1/250
прогоны	1/200

Максимальное отношение прогиба к пролетам мостовых кранов, железнодорожных мостах и др. регламентируется специальными техническими условиями.

Согласно стандарту, принятому в Австралии, допускаемый максимальный прогиб двухопорных балок с шарнирным опиранием $1/360\ l$, для консольных $1/180\ l$, для балок двухопорных второстепенного назначения $1/180\ l$, для консольных $1/90\ l$. Повышенные требования предъявляются к отсутствию в балках отклонений от заданных прямолинейных форм.

Требуемая высота балки (рис. 7, *а*) с учетом заданной нормы жесткости и допускаемых напряжений $[\sigma]_р$ на основной металл

$$h = \psi \frac{[\sigma]_р\, l^2}{E f_{max}}, \qquad (32)$$

где ψ — коэффициент, зависящий от типа нагрузки и от условия опирания (табл. 7).

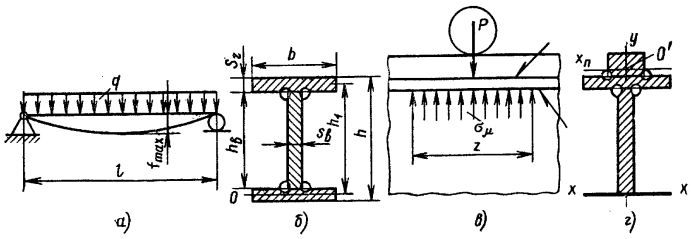


Рис. 7. Схемы для расчета сварной балки

С учетом проектирования балок наименьшей массы

$$h = \nu \sqrt{\frac{M}{s_в [\sigma]_р}}, \qquad (33)$$

где ν — коэффициент, зависящий от формы сечения балки; он равен 1,2—1,4 для двутаврового профиля, 1—1,1 для коробчатого профиля; M — расчетный изгибающий момент балки; $s_в$ — толщина вертикального листа двутаврового профиля или суммарная толщина двух вертикальных листов коробчатого профиля; $[\sigma]_р$ — допускаемое напряжение в металле при растяжении.

Принимая приближенно

$$s_в = \frac{1}{12{,}5} \sqrt{h}, \qquad (34)$$

получим

$$h = \sqrt[2{,}5]{\frac{12{,}5 \nu M}{[\sigma]_р}}, \qquad (35)$$

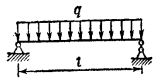
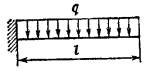
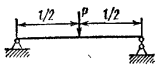
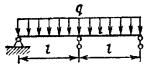
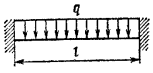
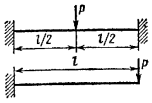
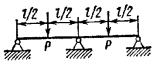
где h — в см; коэффициент 12,5 имеет размерность $см^{-1/2}$.

Из двух значений высоты, вычисленных по формулам (32) и (33), следует принять наибольшее. Условие (32) является обязательным, условие (33) — желательным, поэтому оно может иметь некоторое подчиненное значение.

Процесс подбора сечения двутаврового профиля следующий (рис. 7, *б*). Требуемый момент сопротивления сечения

$$W_{тр} = \frac{M}{[\sigma]_р}. \qquad (36)$$

7 Значение коэффициента ψ

Схема нагружения	ψ	Схема нагружения	ψ
	0,208		0,506
	0,167		0,083
	0,063		
	0,083 0,667		0,098

Требуемый момент инерции сечения

$$J_{тр} = W_{тр} \frac{h}{2}. \qquad (37)$$

Момент инерции вертикального листа высотой $h_в$ и толщиной $s_в$

$$J_в = \frac{s_в h_в^3}{12}. \qquad (38)$$

Приближенно принимают $h_в = 0{,}95\ h$, тогда

$$J_г = J_{тр} - J_в. \qquad (39)$$

Требуемый момент инерции двух горизонтальных листов

$$J_г = 2\left[J_0 + F_2 \left(\frac{h_1}{2}\right)^2\right], \qquad (40)$$

где J_0 — момент инерции горизонтального листа, которым пренебрегают; $h_1 \approx 0{,}97\ h$ — расстояние между центрами тяжести горизонтальных листов.

Требуемая площадь одного горизонтального листа

$$F_г = \frac{2J_г}{h_1^2}. \quad (41)$$

Напряжение от изгиба проверяют по формуле

$$\sigma = \frac{M}{J}\frac{h}{2} \leq [\sigma]_р. \quad (42)$$

Согласно нормам, утвержденным в Канаде, допускаемое напряжение в изгибаемом элементе зависит от типа сечения. При этом при расчете прочности двутавровых, тавровых и других открытых профилей допускаемое напряжение при изгибе принимают равным 0,66 $\sigma_т$, прямоугольных сечений 0,75 $\sigma_т$, круглых стержней 0,9 $\sigma_т$.

Допускаемое напряжение принимают неодинаковым в растянутых и сжатых зонах изгибаемой балки.

По нормам, принятым в Австралии, напряжение в зоне сжатия изгибаемых двутавровых балок со сварными соединениями не должно превышать

$$\sigma_{изг} = \sigma_т\left[0{,}72 - \frac{0{,}12b}{256s}\sqrt{10\sigma_т}\right], \quad (43)$$

где b и s — соответственно ширина и толщина выступающей части пояса балки; $\sigma_т$ — предел текучести.

Касательные напряжения в центре тяжести сечения

$$\tau = \frac{QS}{Js_в}, \quad (44)$$

где Q — наибольшая поперечная сила в сечении; S статический момент половины площади сечения относительно центра тяжести сечения балки.

Эквивалентные напряжения проверяют, когда M и Q одновременно в одном поперечном сечении имеют достаточно большие значения. Эквивалентные напряжения на верхней кромке вертикальной стенки

$$\sigma_э = \sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau_1^2} \leq [\sigma]_р, \quad (45)$$

где

$$\sigma_1 = \frac{Mh_в}{2J}; \quad (46)$$

$$\tau_1 = \frac{QS}{Js_в}, \quad (47)$$

S — статический момент площади горизонтального листа относительно центра тяжести балки.

При перемещении по верхнему поясу балки сосредоточенных сил (в балках крановых, подкрановых, мостовых и т. д. рис. 7, *в* и *г*) прочность вертикального листа проверяют с учетом местного напряжения под силой (рис. 7, *в*)

$$\sigma_м = \frac{\bar{n}P}{s_в z}, \quad (48)$$

где P — сосредоточенная сила; $\bar{n}$ — коэффициент, принимаемый 1,5 при тяжелом режиме работы балки и 1,0 — при легком; z — условная длина, на которой передается нагрузка от сосредоточенного груза на вертикальный лист (рис. 7, *в*);

$$z = 3{,}25\sqrt[3]{\frac{J_п}{s_в}}; \quad (49)$$

$J_п$ — момент инерции горизонтального листа совместно с приваренным к нему рельсом, если таковой имеется, относительно оси $x_п$, проходящей через их общий центр тяжести O' (см. рис. 7, *г*).

Для обеспечения общей устойчивости балки *1* (рис. 8) двутаврового профиля, у которой момент J_x велик по сравнению с моментом J_y, укорачивают свободную длину изгибаемого элемента постановкой связей, соединяющих балку *1* с параллельно установленной балкой *2*, или снижают допускаемые напряжения. При этом в изгибаемой балке напряжения проверяют по формуле

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq [\sigma]_р\varphi_б, \quad (50)$$

где $\varphi_б$ — коэффициент уменьшения допускаемых напряжений балки с учетом устойчивости.

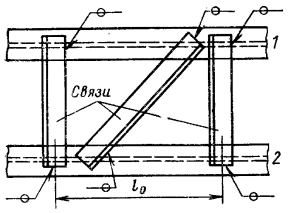


Рис. 8. Схема закрепления балок в горизонтальной плоскости

Для балок симметричного двутаврового сечения

$$\varphi_б = 10^3\psi\frac{J_y}{J_x}\left(\frac{h}{l}\right)^2. \quad (51)$$

Значения ψ принимают по табл. 8 в функции от параметра α, определяемого для сварных двутавров, составленных из трех листов, по формуле

$$\alpha = 8\left(\frac{l}{h}\frac{s_г}{b}\right)^2\left(1 + \frac{h_в s_в^3}{2bs_г^3}\right), \quad (52)$$

где l — расчетная длина балки; $s_в$ — толщина стенки балки; b и $s_г$ — ширина и толщина пояса балки; h — полная высота сечения балки; $h_в$ — высота стенки балки.

Если $\varphi_б > 0{,}85$, то в формулу (50) подставляют величину $\varphi'_б$:

$\varphi_б$	0,85	0,95	1,05	1,15	1,25	1,35	1,55
$\varphi'_б$	0,85	0,89	0,92	0,94	0,96	0,97	1,00

Местная устойчивость вертикальных листов и поясов балок определяется воздействием сжимающих нормальных и касательных напряжений.

Если в балке из низкоуглеродистой стали при отсутствии сосредоточенных сил, перемещающихся по ней,

$$\frac{h_в}{s_в} \leq 100\sqrt{\frac{21}{R}}, \quad (53)$$

8. Коэффициенты ψ для двутавровых балок из стали класса С38/23

α	Балка без закрепления в пролете при нагрузке, приближенная к верхнему поясу: сосредоточенной	Балка без закрепления в пролете при нагрузке, приближенная к верхнему поясу: равномерно распределенной	α	Балка без закрепления в пролете при нагрузке, приближенная к верхнему поясу: сосредоточенной	Балка без закрепления в пролете при нагрузке, приближенная к верхнему поясу: равномерно распределенной
0,1	1,73	1,57	24	4,03	3,55
0,4	1,77	1,60	32	4,59	4,04
1	1,85	1,67	48	5,60	4,90
4	2,21	1,98	64	6,52	5,65
8	2,63	2,35	80	7,31	6,30
16	3,37	2,99			

Примечание. Для сталей классов С 44/29—С 85/75 значения ψ, приведенные в таблице, должны быть умножены на отношение $2{,}1/(0{,}9\sigma_т)$, где $\sigma_т$ — в т/см².

а при наличии таких сил

$$\frac{h_в}{s_в} \leqslant 70\sqrt{\frac{21}{R}}, \qquad (54)$$

то устойчивость вертикального листа не проверяют.

В формулах (53) и (54) расчетное сопротивление R в кгс/мм², Устойчивость сжатых поясов обеспечена, если их ширина

$$b \leqslant 30 s_г \sqrt{\frac{21}{R}}, \qquad (55)$$

где $s_г$ — толщина пояса.

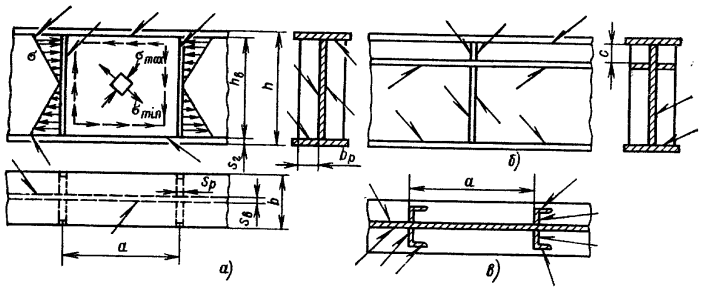


Рис. 9. Расположение ребер жесткости для обеспечения местной устойчивости вертикальных листов балки:

а — образование σ и τ, вызывающих потерю устойчивости; *б*, *в* — расположение ребер жесткости

При несоблюдении условий (53) и (54) к вертикальным листам привариваются вертикальные ребра жесткости из полос или профильного материала (рис. 9). Ширина ребер жесткости

$b_р = \frac{h_в}{30} + 40$ мм, толщина ребер

$s_р \geqslant \frac{b_р}{15}$ для сталей С 38/23 и С 46/33;

$s_р \geqslant \frac{b_р}{12}$ для более прочных сталей.

Для обеспечения местной устойчивости вертикального листа должно быть удовлетворено следующее условие:

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_0} + \frac{\sigma_\mu}{\sigma_{\mu 0}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_0}\right)^2} \leqslant 1{,}00 \qquad (56)$$

(для подкрановых балок $\leqslant 0{,}9$),

где σ_μ — напряжение под сосредоточенной силой; нормальное напряжение на верхней кромке вертикального листа

$$\sigma = \frac{M}{J}\frac{h_в}{2}; \qquad (57)$$

среднее касательное напряжение

$$\tau = \frac{Q}{h_в s_в}; \qquad (58)$$

$$\sigma_0 = 7460\left(\frac{100 s_в}{h_в}\right)^2; \qquad (59)$$

$$\tau_0 = \left(1250 + \frac{950}{\mu^2}\right)\left(\frac{100 s_в}{d}\right); \qquad (60)$$

d — наименьшая из сторон a и $h_в$, заключенная между листами и ребрами жесткости; μ — отношение большей стороны (a или $h_в$) к меньшей.

Величина (кгс/см²)

$$\sigma_{\mu_0} = 10^7 k_1 \left(\frac{s_в}{a}\right)^2. \qquad (61)$$

Значение k_1 в случае, если рельсы приварены к поясам, находится в следующей зависимости от отношения $a/h_в$:

k_1	2,62	2,87	3,58	4,8	6,5	8,75	11,3	14,38	17,97
$a/h_в$	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2

Кроме основных ребер жесткости, устанавливаемых по всей высоте вертикального листа балки, в интервалах между ними иногда ставят укороченные (длиной около $^1/_3 h$) ребра жесткости треугольной формы. Расстояния между основными поперечными ребрами $\leqslant 2h_0$ при $\frac{h_0}{s_в} > 100$ и $\leqslant 2{,}5 h_в$ при $\frac{h_0}{s_в} \leqslant 100$.

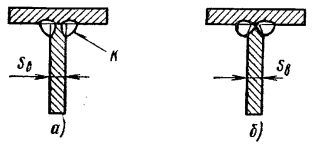


Рис. 10. Поясные швы балок:

а — без подготовки кромок; *б* — с подготовкой кромок

9. Напряжения τ, кгс/мм²

$h_1/s_в$	Расстояние между ребрами жесткости		
	$\leqslant 0{,}8h_в$	$\leqslant 1{,}1h_в$	$\leqslant 1{,}5h_в$
100	—	—	9,0
120	9,2	8,9	8,4
150	8,7	8,1	8,5
180	8,0	7,4	6,6

Примечание. h_1 — расстояние между центрами поясов балки; $s_в$ — толщина вертикального листа.

В балках очень большой высоты предусматривают горизонтальные ребра жесткости; их располагают на расстоянии $c = (0{,}2 \div 0{,}3) h_в$ от верхнего горизонтального листа (рис. 9, *б*). Ребра иногда заменяют уголками (рис. 9, *в*).

Горизонтальные листы соединяют с вертикальными поясными швами, как правило, угловыми (рис. 10, *а*) при наличии сосредоточенных перемещающихся грузов большой величины; иногда с подготовкой кромок (рис. 10, *б*).

Согласно нормам Канады вертикальные ребра жесткости разрешается не применять в балках в следующих случаях:

если $\tau \leqslant 0{,}4\sigma_т$ и

если $\frac{328}{\sqrt{\sigma_т}} < \frac{h_в}{s_в} \leqslant 460\frac{1}{\sqrt{\sigma_т}}$, $\sigma_т$, кгс/мм²

Согласно нормам, принятым в Австралии, ребра жесткости в изгибаемых балках располагают с учетом того, что напряжения τ от поперечной силы Q не должны превышать значений, указанных в табл. 9.

Связующие нормальные напряжения вследствие совместных деформаций шва и основного металла не учитывают при расчете; прочность поясных угловых швов рассчитывают, определяя касательные напряжения

$$\tau=\frac{QS}{J\cdot 2\beta K}, \qquad (62)$$

где J — момент инерции всего сечения; S — статический момент площади пояса или горизонтального листа и рельса (если он имеется) относительно центра тяжести сечения балки.

При вертикальном листе с подготовкой кромок касательное напряжение

$$\tau=\frac{QS}{Js}.$$

Если груз перемещается по рельсу, прикрепленному к поясу балки (см. рис. 7, *в*), то напряжение в поясных швах

$$\tau_p=\frac{n'P}{2\beta Kz}, \qquad (63)$$

где P — сосредоточенный груз; $n'=0{,}4$ — коэффициент, зависящий от характера обработки кромки вертикального листа; z — расчетная длина шва, по которой происходит передача давления с пояса на вертикальный лист [формула (49)].

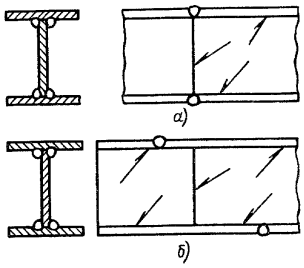


Рис. 11. Стыки балок:

а — универсальный; *б* — частичный

Условное результирующее напряжение в швах

$$\tau_p=\sqrt{\tau^2+\tau_p^2}\leqslant|\tau'|. \qquad (64)$$

Ребра жесткости прикрепляют угловыми швами с катетом $K=0{,}4\div 0{,}7\,s_в$.

Технологические стыки в балках используют при отсутствии элементов требуемой длины. Монтажные стыки проектируют с учетом возможности перевозки балок крупных размеров по частям с последующей сваркой на месте установки. Конструктивные стыки служат для изменения размеров поперечного сечения балок.

Стыки могут быть универсальными, если все элементы балки стыкуются в одном поперечном сечении (рис. 11, *а*), и частичными (рис. 11, *б*). Технологические стыки бывают нередко частичными, монтажные — универсальными. Стыки балок осуществляют стыковой сваркой дугой или на контактной машине. Прочность стыка определяется условием

$$\sigma=\frac{M}{W}\leqslant|\sigma'|_p. \qquad (65)$$

Если $\sigma>|\sigma'|_p$, то стык оказывается неравнопрочным целому сечению. При этом его располагают в сечениях, удаленных от зон максимальных напряжений.

Если $\sigma>|\sigma'|_p$, то возможно усиливать балку путем приваривания к ее поясам дополнительных горизонтальных листов, увеличивающих ее момент

сопротивления W' в расчетном сечении. При этом

$$\sigma=\frac{M}{W'}\leqslant[\sigma']_p,$$

где W' — момент сопротивления сечения балки, усиленной накладками.

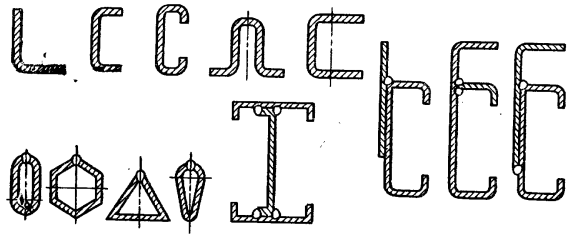


Рис. 12. Конструкции балок из гнутых и штампованных элементов

Типы балок из штампованных и гнутых профилей приведены на рис. 12. Их изготовляют главным образом из листов толщиной $s=1\div 5$ мм, свариваемых большей частью контактной или дуговой сваркой проплавными электрозаклепками. Сварные точки располагают по возможности в зонах, удаленных от зон пластического деформирования.

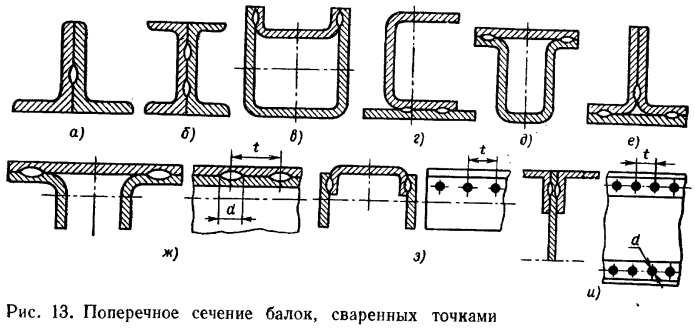


Рис. 13. Поперечное сечение балок, сваренных точками

Связующие точки (рис. 13, *а*, *б*) расчету на прочность не подлежат, рабочие точки (рис. 13, *в*—*з*) рассчитывают на поперечную силу Q. Усилие от среза, действующее по длине балки, равной расстоянию t между точками (рис. 13, *ж*—*и*),

$$T=\frac{QS}{J}t. \qquad (66)$$

Напряжение от среза в точке

$$\tau=\frac{4T}{2\pi d^2}; \qquad (67)$$

где d — диаметр точки.

Опорные плиты балок выпуклой формы изготовляют стальными. На одной из опор балка может перемещаться в продольном направлении, на другой она закреплена от продольного смещения болтами или штырями. Ширина плиты $b_0 = (1{,}1 \div 1{,}2)\, b$ (рис. 14).

Радиус цилиндрической поверхности плиты $R = 1 \div 2$ м; толщина ее у конца $s_{min} = 10 \div 15$ мм. Толщина s плиты на оси определяется из условия работы плиты на изгиб

$$s = \sqrt{\frac{6M}{[\sigma]_p (b_0 - 2d)}}. \qquad (68)$$

Изгибающий момент по оси плиты

$$M = \frac{Aa}{8},$$

где A — реакция опоры; $a = (1 \div 1{,}5)\, b_0$ — длина плиты; $d = 18 \div 25$ мм — диаметр отверстия штыря.

Балки, работающие под переменными нагрузками, должны быть выполнены таким образом, чтобы устранить возможность образования в них концентраторов напряжений значительной величины. Стыки следует сваривать без накладок при плавном изменении толщины горизонтальных листов (рис. 15, *а*) и плавном обрыве накладок (рис. 15, *б*). Ребра жесткости целесообразно приваривать, как это показано на рис. 15, *в*. В растянутом поясе под ребром целесообразна подкладка (рис. 15, *г*). Приварку планок рекомендуется производить, как изображено на рис. 15, *г* и *д*. Угловой шов — в форме неравнобедренного треугольника (рис. 15, *е* и *ж*). На рис. 16 приведены пределы выносливости сварных балок из низкоуглеродистой стали, испытанных под нагрузками, близкими к пульсирующим.

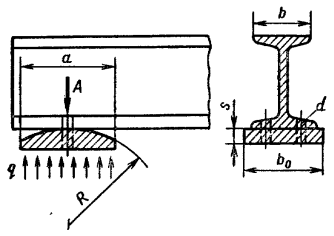


Рис. 14. Конструкция опоры балки

Сопряжения балок между собой, если они работают под переменными нагрузками, необходимо выполнять так, чтобы обеспечивалась минимальная концентрация напряжений. Это достигается преимущественно за счет плавных переходов между элементами и использования стыковых соединений (рис. 17 и 18).

В балках из алюминиевых сплавов максимальное отношение стрелы прогиба f_{max} к длине l пролета должно быть следующим: 1/600 — для подкрановых перекрытий (грузоподъемность крана $Q = 50$ т), 1/400—1/200 — для междуэтажных перекрытий, 1/250—1/200 — для покрытий. Ребра жесткости не ставят или располагают на расстоянии $2{,}4h$ друг от друга, если $\frac{h}{s_в} \leqslant 80$ для сплава АМг6, термически обработанного и искусственно состаренного.

Устойчивость стенки балки из алюминиевых сплавов, подкрепленной только вертикальными ребрами жесткости (см. рис. 9), при отсутствии сосредоточенных сил, приложенных к поясу, проверяют из условия

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_0}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_0}\right)^2} \leqslant V_*. \qquad (69)$$

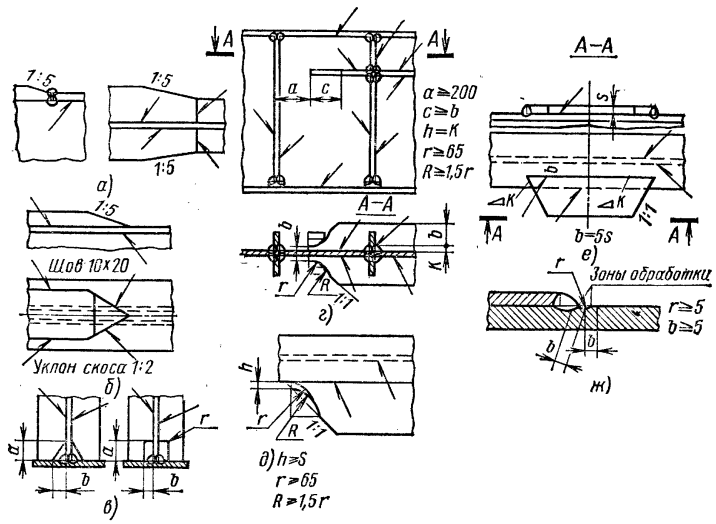


Рис. 15. Примеры оформления балок, работающих под переменными нагрузками:

а — стыки с плавными изменениями толщины и ширины поясов; *б* — рациональный обрыв накладки; *в* — целесообразное крепление ребер жесткости; *г*, *д* — рациональные крепления планок к стенке и поясам; *е*, *ж* — крепление планки к поясу с обработанным угловым швом; *R* — радиус вырезанного участка, выполненного газовой резкой; *r* — то же механической резкой

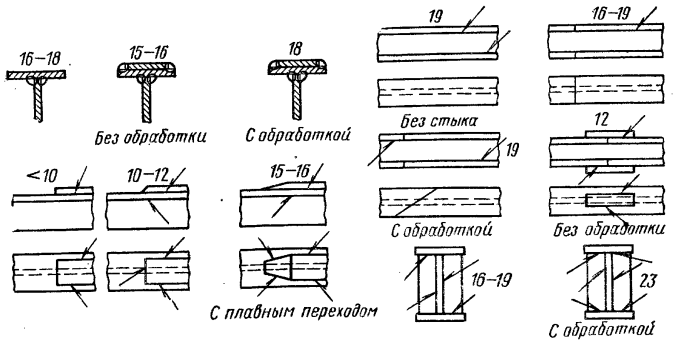


Рис. 16. Пределы выносливости (в кгс/см²) сварных балок при работе под переменными нагрузками с циклами, близкими к пульсирующим

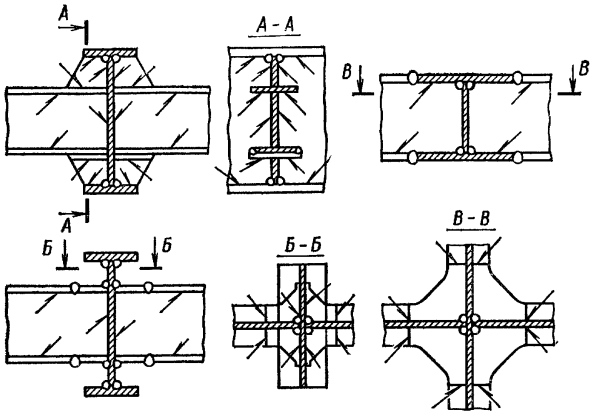


Рис. 17. Сварные соединения балок двутаврового профиля между собой

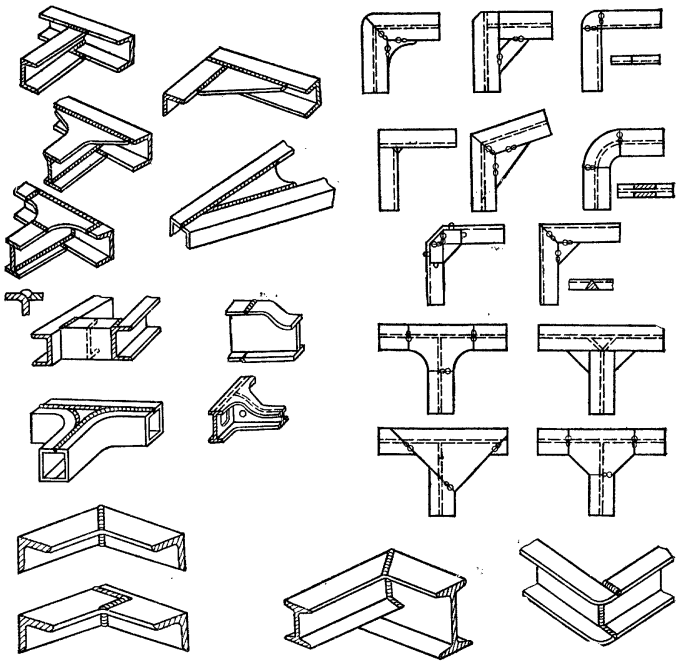


Рис. 18. Соединения балок различных профилей

где расчетное напряжение на верхней кромке вертикального листа

$$\sigma = \frac{M}{J}\frac{h_в}{2}; \tag{70}$$

$$\sigma_0 = 2100\left(\frac{100 s_в}{h_в}\right)^2; \tag{71}$$

$$\tau = \frac{Q}{h_в s_в}; \tag{72}$$

$$\tau_0 = \left(420 + \frac{320}{\mu^2}\right)\left(\frac{100 s_в}{d}\right)^2, \tag{73}$$

где d — наименьшая из двух величин $h_в$ и a; μ — отношение большей стороны прямоугольника, образуемого сторонами a и $h_в$, к меньшей.

Коэффициент V зависит от эквивалентного напряжения

$\frac{\sigma_i}{[\sigma]_р}$	0,66	0,75	0,90	1,00
V	1,00	0,92	0,70	0,50

$$\sigma_i = \frac{1}{2}\sqrt{\left(\frac{2}{3}\sigma\right)^2 + 3\tau^2} \leqslant [\sigma]_р. \tag{74}$$

Толщина ребер жесткости $s \geqslant 1/12\, b$ и ширина $b \geqslant \frac{h_в}{30} + 40$ мм.

Общую устойчивость сварных алюминиевых балок, работающих под действием момента, проверяют по формуле

$$\frac{M}{W\varphi_в} \leqslant [\sigma]_р. \tag{75}$$

Коэффициент

$$\varphi_в = \psi\frac{J_y}{J_x}\left(\frac{h}{l}\right)^2 \cdot 10^3, \tag{76}$$

где J_x и J_y — главные моменты инерции сечения балки; l — длина балки или расстояния между закреплениями в горизонтальной плоскости ее сжатого пояса; h — высота балки; ψ — коэффициент, определяемый по табл. 8 в зависимости от коэффициента

$$\alpha = 1{,}54\frac{J_x}{J_y}\left(\frac{l}{h}\right)^2. \tag{77}$$

Значения ψ перед подстановкой в формулу (76) для изделий из сплава АМг6 умножают на 1,96.

При проверке устойчивости поступают следующим образом. Задаются отношением $\frac{l}{h}$; по формуле (77) находят α, по рис. 19, *а* — ψ, а по формуле (76) — $\varphi_в$. Если $\varphi_в > 0{,}67$, то вместо $\varphi_в$ следует принимать коэффициенты $\varphi'_в$ (рис. 19, *б*).

Согласно техническим условиям Канады разрешается проектировать стальные балки на основе расчета прочности с учетом пластических деформаций. Это допускается при применении сталей, у которых $\sigma_т \leqslant 0{,}8\,\sigma_в$, а также при отсутствии воздействия ударных и значительных по величине переменных нагрузок. При этом нагрузка, определяемая по методу пластических деформаций, не должна превышать $0{,}6\,P_{раз}$.

Предельное усилие с учетом пластических деформаций при растяжении $P_{рас} = \sigma_т F$;
при изгибе

$$M_{пл} = 2S\sigma_т. \tag{78}$$

S — статический момент половины площади поперечного сечения относительно оси, проходящей через центр тяжести.

При наличии моментов M_x и M_y должно соблюдаться условие

$$\frac{M_x}{M_{пл\,x}} + \frac{M_y}{M_{пл\,y}} \leqslant 1, \qquad (79)$$

где $M_{пл\,x}$ и $M_{пл\,y}$ равны соответственно $2S_x\sigma_т$ и $2S_y\sigma_т$.

Согласно нормам СССР по методу пластических деформаций допускаемая несущая способность изгибаемой балки определяется по соотношению $M_{доп} = 2S[\sigma]_р$. Вводимая в расчет величина $2S$ не должна превышать $1{,}2\ W$; для прокатных профилей двутавров и швеллеров (относительно оси симметрии) $2S = 1{,}2\ W$.

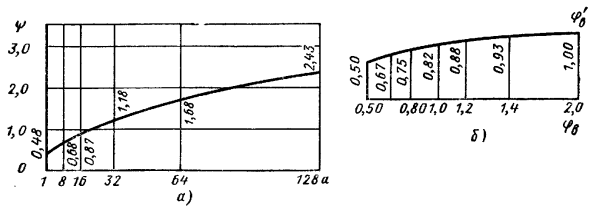


Рис. 19. Коэффициенты ψ в функции α ($а$) и $\varphi'_в$ и в функции $\varphi_в$ ($б$)

Пластические деформации учитывают также для определения расчетных усилий в статически неопределимых системах. В случае, если смежные пролеты неразрезанной балки равны или отличаются между собой не более, чем на 20%, расчетное значение M находят из условия выравнивания моментов на опоре и в пролете.

В неразрезанных балках со свободно опертыми концами расчетный момент равен максимальному из значений двух величин $M_1/(1 + u/l)$ и $0{,}5M_2$, где M_1 и M_2 — наибольшие изгибающие моменты в крайних и промежуточных пролетах, вычисленные, как для однопролетных балок с шарнирным опиранием на концах; u — расстояние от сечения, в котором действует момент M_1 до крайней опоры; l — длина крайнего пролета.

В однопролетных и неразрезанных балках с защемленными концами $M_{расч} = 0{,}5M$, где M — наибольший из моментов, определенных, как для балки, свободно лежащей на двух опорах.

В балке, один конец которой защемлен, а другой свободен; расчет производят, как для крайнего пролета неразрезанной балки.

Согласно нормам СССР пластические деформации учитывают в конструкциях из сталей класса не выше С 60/45, работающих под статическими нагрузками при следующих условиях. Отношение b/s не превышает $10\sqrt{\frac{21}{0{,}9\sigma_т}}$; b — ширина свеса горизонтального листа. Отношение $h_в/s_в$ при наличии лишь вертикальных ребер жесткости должно быть $\leqslant 70\sqrt{\frac{21}{0{,}9\sigma_т}}$, где $\sigma_т$ — в кгс/мм².

Касательное напряжение $\tau \leqslant 0{,}3 \cdot 0{,}9\sigma_т$. Должна быть обеспечена общая устойчивость балки.

СТОЙКИ

В сжатых элементах — стойках должны быть обеспечены прочность и устойчивость; их поперечные сечения должны обладать возможно большей жесткостью по всем направлениям. Поперечные сечения стоек из проката приведены на рис. 20.

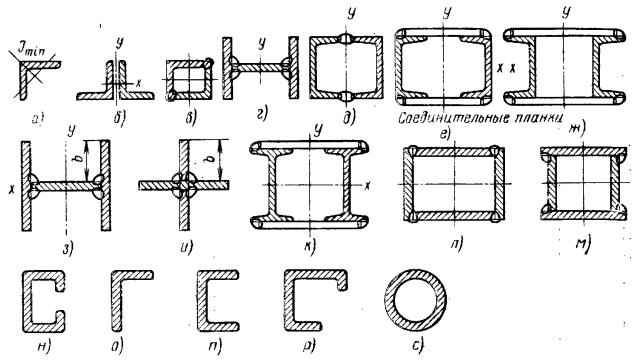


Рис. 20. Поперечные сечения сжатых стоек

Сечения, показанные на рис. 20, *а*, *я*—*д*, *з*—*с*, имеют главные центральные оси материальные. Оси y сечений, представленных на рис. 20, *б*, *е*, *ж*, *к*, свободные. Особенно целесообразны закрытые трубчатые сечения (рис. 20, *в*, *д*, *л*, *м*, *с*). Применяют стойки из гнутых профилей (рис. 20, *н*—*р*).

Сварные стойки при центральном сжатии рассчитывают на устойчивость по формуле

$$\sigma = \frac{P}{F} \leqslant [\sigma]_р \varphi, \qquad (80)$$

где P — продольная сила в стойке; F — площадь поперечного сечения; φ — коэффициент продольного изгиба.

Величина φ зависит от гибкости сжатого элемента $\lambda = \frac{l}{r}$ и рода материала. Радиус инерции сечения $r = \sqrt{\frac{J}{F}}$, где J — момент инерции поперечного сечения в стойке в направлении наименьшей жесткости; F — ее площадь.

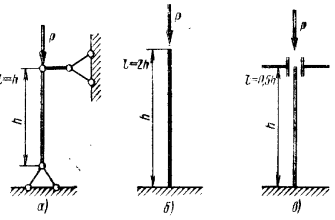


Рис. 21. Расчетные схемы стоек

Для конструкции стойки, шарнирно закрепленной по концам (рис. 21, *а*), свободную длину l принимают равной длине стойки h. При этом гибкость стойки $\lambda = \frac{h}{r}$.

Для стоек, изображенных на рис. 21, *б* и *в*, гибкость λ соответственно равна $\frac{2h}{r}$ и $\frac{0{,}5h}{r}$.

10. Коэффициент φ для элементов из различных сталей

$\lambda = \frac{l}{r}$	Сталь						
	С 38/23	С 44/29	С 46/33	С 52/40	С 60/45	С 70/60	С 85/75
0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
10	0,988	0,987	0,986	0,985	0,984	0,983	0,982
20	0,970	0,968	0,965	0,962	0,956	0,953	0,950
30	0,943	0,935	0,932	0,927	0,916	0,909	0,903
40	0,905	0,892	0,888	0,878	0,866	0,852	0,838
50	0,867	0,843	0,837	0,823	0,810	0,790	0,760
60	0,820	0,792	0,780	0,764	0,740	0,700	0,660
70	0,770	0,730	0,710	0,682	0,650	0,610	0,558
80	0,715	0,660	0,637	0,604	0,570	0,518	0,432
90	0,655	0,592	0,563	0,523	0,482	0,412	0,343
100	0,582	0,515	0,482	0,437	0,396	0,336	0,288
110	0,512	0,440	0,413	0,370	0,325	0,273	0,230
120	0,448	0,383	0,350	0,273	0,270	0,230	0,192
130	0,397	0,330	0,302	0,264	0,232	0,196	0,164
140	0,348	0,285	0,256	0,228	0,198	0,168	0,142
150	0,305	0,250	0,226	0,198	0,173	0,148	0,123
160	0,270	0,220	0,200	0,176	0,153	0,130	0,108
170	0,240	0,195	0,178	0,156	0,137	0,116	0,096
180	0,216	0,175	0,160	0,139	0,122	0,102	0,086
190	0,196	0,158	0,142	0,126	0,108	0,092	0,077
200	0,175	0,142	0,129	0,112	0,098	0,082	0,069
210	0,160	0,130	0,118	0,102	0,089	0,075	0,063
220	0,146	0,119	0,108	0,093	0,081	0,068	0,057

Коэффициенты φ для стоек из сталей разных классов приведены в табл. 10. Устойчивость сжатых стоек проверяют также по преобразованной формуле

$$\sigma = \frac{P}{F\varphi} \leqslant [\sigma]_p. \qquad (81)$$

Произведение $F\varphi$ называют приведенной площадью сжатого элемента.

Сечение сжатых стоек подбирают методом последовательного приближения. В первом приближении коэффициент φ может быть принят равным 0,5—0,8 в зависимости от вида конструкции. По заданному коэффициенту φ в первом приближении определяют требуемую площадь поперечного сечения стойки:

$$F_{\text{треб}} = \frac{P}{[\sigma]_p \varphi}. \qquad (82)$$

После подбора сечения F в нем проверяют напряжения по формуле (81). Подбор осуществляют несколько раз. Допустимы отклонения σ от $[\sigma]_p$ в пределах ± 5%.

Стыки стоек по длине выполняют, как указано на рис. 22, *а*. Наиболее распространены стыковые соединения (рис. 22, *б*), реже места стыков перекрывают накладками (рис. 22, *в*) или стык выполняют с помощью прокладки (рис. 22, *г*).

Как правило, в стыковых соединениях напряжение σ меньше, чем допускаемое по устойчивости напряжение $[\sigma]_p\varphi$. В этом случае прочность стыкового соединения обеспечена.

Наибольшая высота стенки двутавровых, коробчатых профилей

$$h_в = \left[40\sqrt{\frac{2{,}1}{R}} + \nu\right] s_в,$$

где ν = 0,2 λ — для коробчатых и 0,4 λ — для двутавровых профилей; R, кгс/мм².

Свес b полок не должен превышать 15 s для стали С 38/23; 13 s для сталей С 44/29 и С 46/33; 11 s для стали С 52/40; 10,5 s для стали С 60/45.

Для полок двутавровых балок из стали С 38/23 предельные значения $b/s \leqslant 16$ при $\lambda = 50$; $\leqslant 20{,}5$ при $\lambda = 100$; $\leqslant 23{,}5$ при $\lambda = 125$. Для стали С 52/40 $b/s \leqslant 14$ при $\lambda = 50$; $\leqslant$ 18,5 при $\lambda = 100$; $\leqslant 19{,}3$ при $\lambda = 125$.

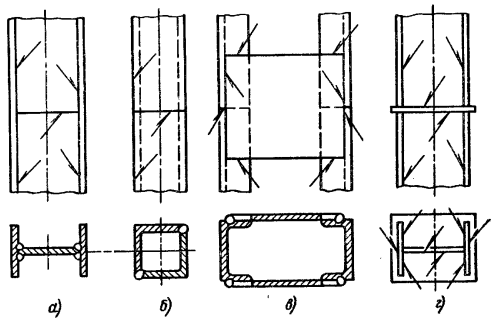


Рис. 22. Конструкция стыков стоек

Стенку сжатого элемента укрепляют ребрами жесткости. Последние рекомендуется ставить если

$$\frac{h}{s} \geqslant \frac{100}{\sqrt{R}}, \qquad (83)$$

где h и s — соответственно высота и толщина листа; $R \approx 0{,}9\,\sigma_т$ тс/см² — расчетное сопротивление; расстояние между ребрами 2,5—3h, но не менее двух ребер.

11. Предельные значения b/s для полок равнобоких уголков и гнутых профилей

Материал	Гибкость	
	50	100
С 38/23, С 46/33	15	18
Более прочные стали	13	16

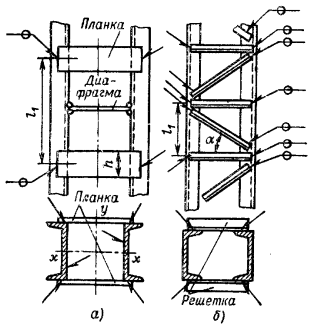


Рис. 23. Связи стоек с составными поперечными сечениями

Наибольшую ширину b полки равнобоких и гнутых уголков (см. рис. 20, *з*, *и*) определяют по табл. 11.

В стойках, имеющих составные поперечные сечения, ветви соединяют связями: наиболее часто планками (рис. 23, *а*), реже соединительными решетками (рис. 23, *б*).

В сжатых элементах с составными поперечными сечениями устойчивость относительно материальной оси (оси x для конструкции на рис. 23, *а*) проверяют, как и для элементов со сплошными поперечными сечениями. При проверке устойчивости стойки относительно свободной оси (оси y на рис. 23, *а*) коэффициент φ находят как функцию приведенной гибкости λ_0:

$$\lambda_0 = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_1^2}. \tag{84}$$

Для определения λ_0 сначала находят λ_y при допущении, что ось поперечного сечения y материальна. Гибкость λ_1 одной ветви при расстоянии l_1 между осями планок

$$\lambda_1 = \frac{l_1}{r_1}, \tag{85}$$

где r_1 — радиус инерции одной ветви сечения (одного швеллера).

Планки рекомендуется расставлять таким образом, чтобы гибкость $\lambda_1 \leqslant 40$. Наибольшую гибкость из λ_0 и λ_x принимают в качестве расчетной. Если ветви поперечного сечения стойки соединены решеткой, то приведенная гибкость относительно свободной оси при угле между раскосом и ветвью $\alpha \geqslant 45°$

$$\lambda_0 = \sqrt{\lambda_y^2 + 27\frac{F}{F_p}}, \tag{86}$$

где F — площадь поперечного сечения стержня; F_p — площадь сечения раскосов соединительной решетки.

Для стойки, состоящей из четырех расставленных уголков,

$$\lambda_0 = \sqrt{\lambda^2 + \lambda_1^2 + \lambda_2^2}, \tag{87}$$

где λ — наибольшая гибкость всего стержня; λ_1 и λ_2 — гибкости отдельных ветвей.

При нагружении стойки силой, приложенной в центре конструкции из стали С 38/23, условная поперечная сила

$$Q = 20F, \tag{88}$$

где F — площадь поперечного сечения стойки, см^2.

Формулу (88) используют при расчете конструкций из низкоуглеродистой стали. При расчете конструкций из сталей С 44/29 $Q = 30\,F$, из сталей С 46/36 и С 52/40 $Q = 40\,F$, из сталей С 60/45 $Q = 50\,F$, из стали С 60/70 $Q = 60\,F$.

В конструкции, приведенной на рис. 24, *а*, реальная поперечная сила

$$Q = \frac{Pe}{l}. \tag{89}$$

Если реальная поперечная сила больше, чем условные, указанные выше силы, то за расчетную величину принимают реальную силу.

Соединительные швы в стойках, имеющих сплошные сечения, конструируют, как правило, непрерывными и сваривают автоматами.

Касательные напряжения в соединительных швах конструкций рис. 24, *б* и *в*

$$\tau = \frac{QS}{2J\beta K}, \tag{90}$$

где Q — условная поперечная сила; J — момент инерции всего сечения (например, для конструкции, изображенной на рис. 24, *б*, *в* относительно оси y); K — катет шва; S — статический момент площади вертикального листа (см. рис. 24, *б*) или швеллера (см. рис. 24, *в*) относительно оси y, проходящей через центр тяжести сечения.

В конструкции, изображенной на рис. 24, *г*, касательные напряжения в продольном шве

$$\tau = \frac{QS}{2Js}, \tag{91}$$

где $S = F\,c$; F — площадь полукольца; c — расстояние от центра тяжести полукольца до центра трубы.

Из технологических соображений следует принимать $K \geqslant 4$ мм, если наименьшая толщина соединяемых элементов больше 4 мм.

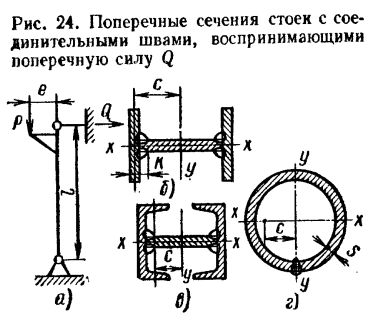


Рис. 24. Поперечные сечения стоек с соединительными швами, воспринимающими поперечную силу Q

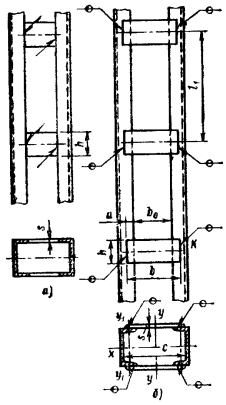


Рис. 25. Соединительные планки стоек

Планки между ветвями стойки целесообразно вваривать встык (рис. 25, *а*). При нахлесточном соединении планки (рис. 25, *б*) сваривают угловыми швами. С учетом требования жесткости ширина планки h должна быть $\geqslant 0{,}5\,b$. Толщину планки s выбирают из условия $\frac{b_0}{s} \leqslant 50$; b_0 — расстояние между ветвями в свету.

Чтобы препятствовать скручиванию профиля, возможному из-за смещения одной ветви сечения относительно другой, ставят диафрагмы — на каждом элементе не менее двух.

Планки рассчитывают в основном на изгиб от момента

$$M = \frac{Ql_1}{4}. \tag{92}$$

Момент сопротивления планки

$$W = \frac{sh^2}{6}. \tag{93}$$

Напряжения в планке, вызванные изгибающим моментом,

$$\sigma = \frac{M}{W} \leqslant [\sigma]_p. \tag{94}$$

Наименьшая требуемая высота поперечного сечения планки

$$h = \sqrt{\frac{6M}{[\sigma]_p s^2}}. \tag{95}$$

Если планки со стойкой соединены встык (см. рис. 25, *а*), то прочность швов определяют из условия

$$\sigma=\frac{6M}{sh^2}\leqslant[\sigma']_р. \quad (96)$$

В случае приварки планок угловыми швами напряжения в швах (см. рис. 25,*б*)

$$\tau=\frac{M}{\beta Ka(h+K)+\frac{\beta Kh^2}{6}}. \quad (97)$$

Усилия в раскосе соединительной решетки (см. рис. 23, *б*)

$$D=\frac{Q}{2\cos\alpha}, \quad (98)$$

где Q — поперечная сила.

Напряжения в швах, прикрепляющих раскосы,

$$\tau=\frac{D}{\beta KL}\leqslant[\tau'].$$

где L — длина периметра швов, прикрепляющих раскос к элементу стойки.

При действии на стойку продольной силы N и момента M относительно оси x устойчивость стойки проверяют в двух плоскостях.

Устойчивость в плоскости действия момента проверяют по соотношению

$$\frac{N}{\varphi_{вн}F}\leqslant[\sigma]_р, \quad (99)$$

где N — продольная сила, приложенная с эксцентриситетом $e=\frac{M}{N}$; $\varphi_{вн}$ при внецентренном сжатии определяют по табл. 12 в зависимости от условной гибкости

$$\bar\lambda=\lambda\sqrt{\frac{0{,}9\sigma_т}{E}} \quad (100)$$

и коэффициента

$$m_{прив}=\frac{MF}{WN}, \quad (101)$$

где $\lambda=\frac{l}{r}$ — гибкость сжатого элемента; l — длина стойки; $r=\sqrt{\frac{J}{F}}$ — радиус инерции; F — площадь поперечного сечения стойки; J — момент инерции относительно оси, перпендикулярной к плоскости изгиба;

$$m_{прив}=m\eta,$$

η — коэффициент, зависящий от профиля поперечного сечения.

Для коробчатых и двутавровых профилей при $\bar\lambda$ стойки $\leqslant 5$ $\eta=(1{,}75\div0{,}13)\bar\lambda$ если $m=0{,}1\div5$ и $\eta=(1{,}5\div0{,}08)\bar\lambda$ если $m=5\div20$; при $\bar\lambda$ стойки >5 $\eta=1{,}1$.

Для сплошностенчатых поперечных сечений двутавровых, коробчатых, тавровых и других балок величина m связана с эксцентриситетом e приложения силы N:

$$e=\frac{W}{F}m, \quad (102)$$

где W — момент сопротивления относительно оси, перпендикулярной к плоскости изгиба.

12. Коэффициенты $\varphi_{вн}$ для проверки устойчивости внецентренно сжатых (сжато-изогнутых) сплошностенчатых стержней в плоскости действия момента, совпадающей с плоскостью симметрии

$\bar\lambda$	Коэффициенты $m_{прив}$																									
	0,1	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0	14,0	17,0	20,0
0,5	967	922	850	782	722	639	620	577	538	469	417	370	337	307	280	260	237	222	210	183	164	150	125	110	090	072
1,0	925	854	778	711	653	600	563	520	484	427	382	341	307	283	259	240	225	209	196	175	157	142	122	105	088	068
1,5	875	804	716	647	583	548	507	470	439	388	347	312	283	262	240	223	207	195	182	163	148	134	114	099	084	067
2,0	813	742	653	587	536	496	457	425	397	352	315	286	260	240	222	206	198	182	170	153	138	125	107	094	079	065
2,5	742	672	587	526	480	442	410	383	357	317	287	282	238	220	204	190	178	168	158	144	130	118	101	089	075	063
3,0	667	597	520	465	425	395	365	342	320	287	260	238	217	202	187	175	168	156	147	135	123	112	096	086	072	060
3,5	587	522	455	408	375	350	325	303	287	258	238	216	198	183	172	162	153	145	137	125	115	106	091	082	068	058
4,0	505	447	394	356	330	309	289	270	256	232	212	197	182	168	158	149	140	135	127	118	108	098	087	078	065	056
4,5	418	382	342	310	288	272	257	242	229	208	192	178	166	155	146	137	130	125	118	110	101	093	082	073	062	054
5,0	354	326	295	273	253	239	225	215	205	188	175	162	150	143	135	126	120	117	111	103	095	088	077	070	060	052
5,5	302	280	256	240	224	212	200	192	184	170	158	148	138	132	124	117	112	108	104	095	089	084	073	067	057	050
6,0	258	244	223	210	198	190	178	172	166	153	145	137	128	120	115	109	104	100	096	089	084	079	069	064	055	048
6,5	223	213	196	185	178	170	180	155	149	140	132	125	117	112	106	101	097	094	089	083	080	074	068	061	052	045
7,0	194	185	173	163	157	152	145	141	136	127	121	115	108	102	098	094	091	087	083	078	074	070	063	058	050	043
8,0	152	146	138	133	128	121	117	115	113	106	100	095	091	087	083	081	078	076	074	068	065	062	056	052	045	039
9,0	122	117	112	107	103	100	098	096	093	088	085	082	079	075	072	069	066	065	064	061	058	055	051	046	042	036
10,0	100	097	093	091	090	085	081	080	079	075	072	070	060	065	062	060	059	058	057	055	052	049	045	041	038	034
11,0	083	079	077	076	075	073	071	089	068	063	062	061	060	057	055	053	052	051	050	048	046	044	041	038	034	032
12,0	069	067	064	063	062	060	059	059	058	055	054	053	052	051	050	049	048	047	046	044	042	040	038	034	032	029
13,0	062	061	054	053	052	051	051	050	050	049	048	048	047	045	044	043	042	041	041	039	038	037	035	033	030	027
14,0	052	049	049	048	048	047	047	046	045	044	043	043	042	041	040	040	039	039	038	037	036	036	033	032	026	

П р и м е ч а н и я: 1. Значения коэффициентов $\varphi_{вн}$ здесь увеличены в 1000 раз.
2. Значения $\varphi_{вн}$ принимают не выше значений φ, приведенных в табл. 10.

Устойчивость в плоскости, перпендикулярной к действию изгибающего момента, проверяют по формуле

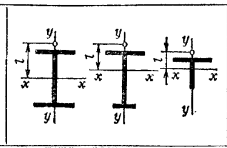
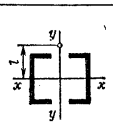
$$\frac{N}{c\varphi_y} \leqslant [\sigma]_p, \qquad (103)$$

где

$$c = \frac{\beta}{1 + \alpha m}. \qquad (104)$$

При определении m по формуле (100) в стержнях с закрепленными концами за расчетный момент M принимают момент в средней части длины стержня, в консольных стержнях моменты определяют в защемлениях. Коэффициенты α и β приведены в табл. 13.

13. Коэффициенты α и β

Положение силы относительно центра тяжести			Примечание
Коэффициент α			
$\frac{m}{<1}$	0,7	0,6	λ_{max} — наибольшая гибкость стойки относительно оси; φ_y — коэффициент продольного изгиба; $\lambda_c = 100$ для стали С 38/23; $\lambda_c = 92$ для стали С 44/29; $\lambda_c = 88$ для стали С 46/33; $\lambda_c = 86$ для стали С 50/40.
1—5	$0{,}7 + 0{,}05\,(m-1)$	$0{,}6 + 0{,}05\,(m-1)$	
>5	0,9	0,8	
Коэффициент β			
$\frac{\lambda_{max}}{<\lambda_c}$	1,00	1,0	
$>\lambda_c$	$\frac{0{,}58}{\varphi_y}$	1,0	

ФЕРМЫ

При подборе поперечных сечений ферм максимальная гибкость λ стержней стальных ферм промышленных сооружений должна быть не выше указанной в табл. 14 и 15.

Стержни в большинстве случаев конструируют из прокатных профильных элементов. Целесообразны гнутые элементы, так как при малой толщине они обладают повышенной жесткостью. Для сокращения объема сварочных работ и уменьшения деформаций от сварки швы в элементах следует располагать по возможности симметрично.

Типы поперечных сечений сжатых поясов приведены на рис. 26, *а—и*. Замкнутые сечения (рис. 26, *з*, *и*) целесообразны в конструкциях, где требуется повышенное сопротивление кручению. Сечения, приведенные на рис. 26, *д*, *е*, встречаются в фермах, в которых верхние пояса, кроме силы сжатия, испытывают изгибающие моменты. Трубчатые конструкции (рис. 26, *и*) рациональны с позиции жесткости.

14. Максимальная гибкость λ сжатых элементов

Элементы	λ
Пояса, опорные раскосы и стойки ферм, передающие опорные реакции	120
Прочие элементы ферм	150
Основные колонны	120
Второстепенные колонны	150
Элементы связей	200

15. Максимальная гибкость λ растянутых элементов

Элементы	Нагрузка	
	статическая	динамическая
Пояса опорные и раскосы ферм	400	250
Прочие элементы ферм	400	350
Элементы вертикальных связей	300	300
Прочие элементы связей	400	400

Требуемая площадь сжатого пояса при отсутствии момента

$$F_{тр} = \frac{N}{[\sigma]_p \varphi}, \qquad (105)$$

где N — расчетная продольная сила; φ — коэффициент продольного изгиба.

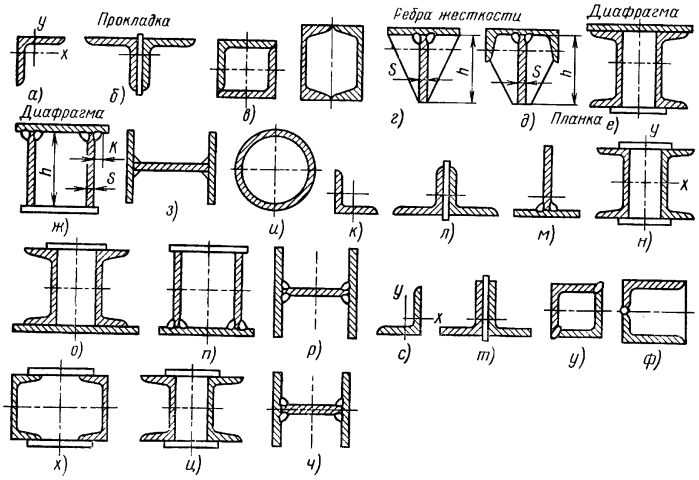


Рис. 26. Типы поперечных сечений стержней ферм:

а—и — сжатые пояса; *к—р* — растянутые пояса; *с—ч* — раскосы стоек

При подборе сечения следует предварительно задаться φ, как это делают при расчете стоек. Свободную длину стержня принимают с учетом конструкции сооружения. Расчетные длины элементов плоских ферм и связей определяют следующим образом. При проверке устойчивости в плоскости фермы расчетную длину l_0 поясов и опорных раскосов принимают равной расстоянию l между центрами узлов фермы, а при проверке прочих раскосов и стоек — 0,8 l.

При проверке устойчивости стержней при возможном их выходе из плоскости фермы расчетные длины всех элементов принимают равными l. Для элементов решетки из одиночных уголков расчетную длину l_0 принимают равной l.

Напряжения в подобранном сечении

$$\sigma = \frac{N}{F\varphi} \leq [\sigma]_р. \qquad (106)$$

В стержнях, поперечные сечения которых приведены на рис. 26, *в—з*, соединительные швы конструируют, как правило, непрерывными и выполняют автоматической сваркой; при этом катет шва K принимают 0,4—0,6 s листа; нередко $K = 4 \div 5$ мм.

При отсутствии на панели нагрузки для расчета швов определяют поперечную условную силу (см. стр. 188).

Напряжения в швах

$$\tau = \frac{QS}{2J\beta K}, \qquad (107)$$

где J — момент инерции поперечного сечения; S — статический момент части пояса, лежащей выше центра тяжести сечения.

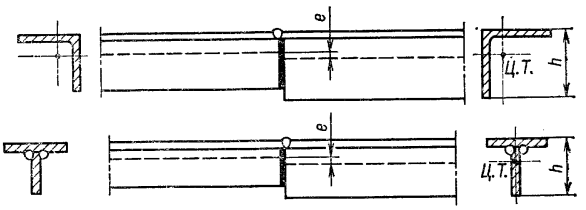


Рис. 27. Стыки элементов поясов с эксцентриситетами

Для повышения устойчивости элемента (рис. 26, *г—ж*) применяют соединительные планки, диафрагмы, ребра жесткости, расположенные в плоскости, перпендикулярной к оси элемента.

В крановых и стропильных фермах средней и малой грузоподъемности сечения поясов часто остаются неизменными по длине. На положение центра тяжести влияет изменение поперечного сечения, что создает эксцентриситет e (рис. 27). Если $e \geqslant 0{,}02h$, то следует учесть дополнительные напряжения от изгибающего момента.

Требуемая площадь поперечного сечения стержня при растяжении

$$F_{тр} = \frac{N}{[\sigma]_р}. \qquad (108)$$

Поперечные сечения растянутых поясов приведены на рис. 26, *к—р*. Условия возможности изменения сечения от панели к панели в растянутых поясах те же, что и в сжатых. Соединительные швы в растянутых элементах не рабочие; катеты швов $K = 4 \div 5$ мм; швы в большинстве случаев непрерывные; сваривают их на автоматах. Поперечные сечения раскосов и стоек приведены на рис. 26, *с — ч*. В растянутых раскосах и стойках требуемую площадь поперечных сечений элементов определяют по формуле (108), в сжатых раскосах и стойках — по формуле (105).

Порядок подбора сечений аналогичен описанному для стоек.

Условия рационального конструирования узлов ферм следующие: геометрические оси соединяемых стержней должны пересекаться в одной точке — центре

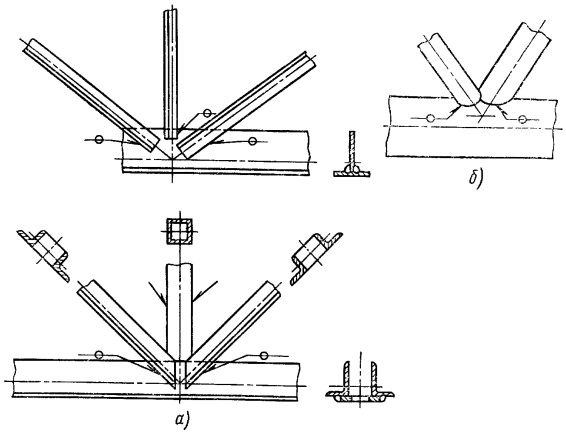


Рис. 28. Узлы без косынок из стержней:
а — углового профиля; *б* — трубчатого профиля

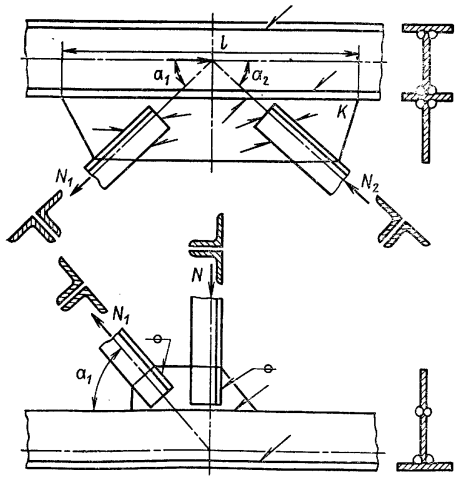


Рис. 29. Узлы с надставками

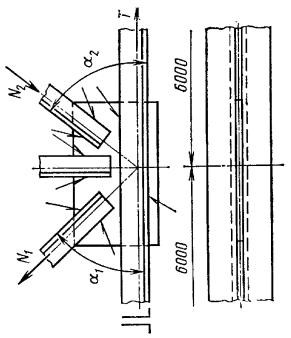


Рис. 31. Узлы с прокладкой

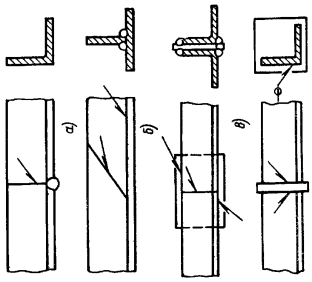


Рис. 33. Стыки поясов ферм

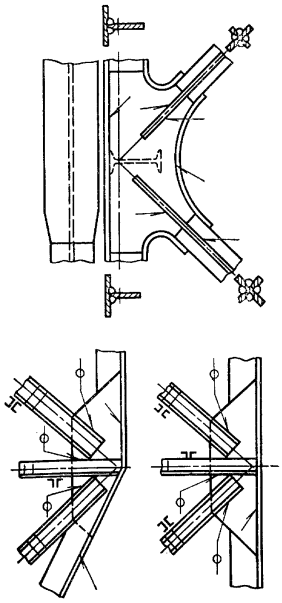


Рис. 30. Узлы со вставками

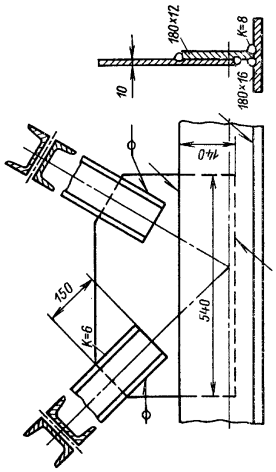


Рис. 32. Узлы с накладкой

узла; должна быть обеспечена возможность наложения швов, прочно прикрепляющих раскосы и стойки к поясам в удобном для производства сварочных работ положении; не должно быть лишних швов.

Требуемая длина швов, прикрепляющих стержень в узле,

$$L = \frac{N}{\beta K [\tau']}, \tag{109}$$

где $[\tau']$ — допускаемое напряжение в шве при срезе.

Если присоединяемый элемент является уголком, то сварные швы рассчитывают, как указано в гл. 1.

При конструировании узлов нередко используют косынки в форме надставок, вставок, прокладок, накладок. Узлы без косынок наиболее просты (рис. 28); их применяют, если могут быть соблюдены все правила рационального конструирования.

Надставки приваривают к поясам втавр для обеспечения прочного прикрепления раскосов и стоек (рис. 29).

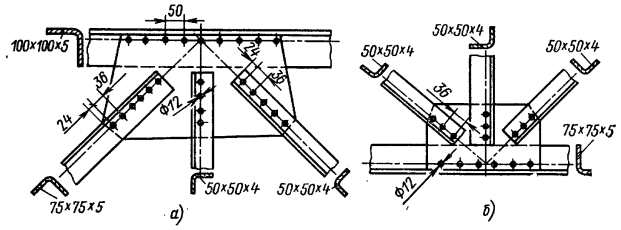


Рис. 34. Узлы ферм, сваренные точками

Приближенно расчет швов, прикрепляющих надставку, может быть произведен с учетом срезывающей силы

$$T = N_1 \cos\alpha_1 + N_2 \cos\alpha_2; \tag{110}$$

$$\tau = \frac{T}{2\beta K l}. \tag{111}$$

Узлы со вставками (рис. 30) применяют в фермах, работающих под переменными нагрузками. Вставку к вертикальным листам прикрепляют как прямыми, так и косыми стыковыми швами.

Узлы с прокладками используют, когда сечения стержней ферм состоят из парных элементов — уголков или швеллеров, расставленных с зазором, достаточным для того, чтобы поместить в узле прокладку (рис. 31).

Усилие, сдвигающее прокладку относительно пояса,

$$T = N_1 \cos\alpha_1 + N_2 \cos\alpha_2. \tag{112}$$

Распределение усилий между фланговыми швами неравномерное. В случае равнобоких уголков усилие со стороны обушка $T_1 = 0{,}7T$, а с противоположной стороны $T_2 = 0{,}3T$.

Узел с накладкой приведен на рис. 32. Подобные узлы применяют главным образом в легких фермах.

Стыки поясов ферм разделяются на три вида: технологические, если отсутствуют элементы требуемой длины; конструктивные для изменения поперечного сечения пояса от панели к панели; монтажные в зависимости от условий транспортировки. Наиболее целесообразны соединения, сваренные встык прямыми и

косыми швами, при работе элементов на растяжение и сжатие, а также при статических и динамических нагрузках (рис. 33, *а* и *б*). На рис. 33, *в* приведен пример соединения встык с добавлением прокладки, на рис. 33, *г* — втавр через прокладку. Последнюю из приведенных конструкций применяют в элементах, работающих на сжатие.

Узел верхнего пояса с элементами в форме гнутых профилей, сваренных контактной точечной сваркой, изображен на рис. 34, *а*, а нижнего — на рис. 34, *б*.

Для ферм, требующих предельного сокращения массы, например, для стрел подъемных кранов, сборно-разборных мостов, гидротехнических затворов и т. п., а также для объектов, работающих в условиях агрессивных сред, и перекрытий некоторых типов фермы конструируют из алюминиевых сплавов. Недостатком алюминиевых ферм по сравнению со стальными является повышенный прогиб при нормальном использовании расчетных напряжений и малые коэффициенты φ при подборе сечений элементов, работающих на сжатие. Преимущество их заключается в хорошей сопротивляемости ударным нагрузкам независимо от окружающей температуры.

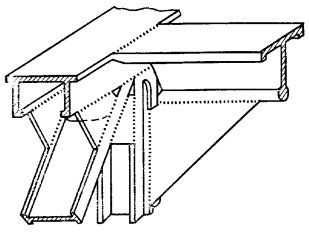


Рис. 35. Узел фермы из прессованных элементов алюминиевых сплавов

При изготовлении ферм из алюминиевых сплавов применяют гнутые элементы, элементы, полученные прессованием (рис. 35), прокаткой, выдавливанием через профильные отверстия и другими способами. Как правило, конструкции алюминиевых ферм сваривают аргонодуговой сваркой и под флюсом, реже контактной. Для обеспечения плотности соединений и улучшения антикоррозионных свойств иногда комбинируют сварку с клейкой. При проектировании алюминиевых ферм уделяют внимание выбору конструктивных форм при наименьших значениях концентраторов напряжений.

ЛИСТОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Резервуары-хранилища, как правило, бывают цилиндрической формы. Для их изготовления применяют сталь С 36/23, а также низколегированные стали. Немаркированная сталь допускается лишь для неответственных резервуаров небольшой вместимости.

Ширина поясов обечаек (рис. 36, *а*) зависит от ширины листов. Продольные швы вдоль образующей резервуара нередко сваривают встык, кольцевые — внахлестку и встык. Резервуары хранилищ проектируют с учетом их изготовления методом рулонирования, который почти полностью вытеснил процесс полистовой сборки. Нижние пояса чаще сваривают встык, верхние — внахлестку. При рулонировании используют листы толщиной до 14 мм и более; применение низколегированных сталей расширяет возможности этого метода.

Расположение швов показано на рис. 36, *б—г*. Угловые швы, как правило, выполняют непрерывными. Толщина листов поясов зависит от давления жидкости, наполняющей резервуар.

Требуемая толщина листа пояса

$$s_{тр}=\frac{pD}{2[\sigma]_p'}, \qquad (113)$$

где D — диаметр цилиндра; $p=\gamma h$ — давление жидкости (здесь γ — плотность жидкости; h — глубина расположения рассматриваемого слоя относительно

свободной поверхности); по соображениям рационального конструирования наименьшую толщину пояса в резервуарах принимают 4 мм; при определении p на пояс за h принимают расстояние до сечений A, как показано на рис. 36; $[\sigma]_p'$ — допускаемое напряжение в сварном шве.

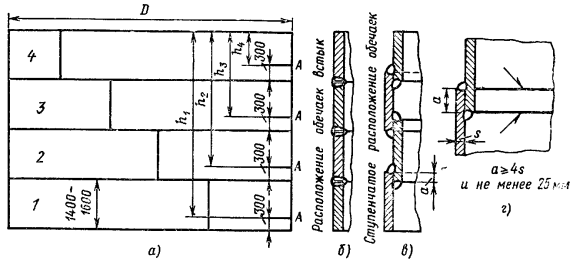


Рис. 36. Сварные соединения обечаек резервуаров

При проектировании резервуаров применяют метод расчета прочности по предельному состоянию. При этом допускаемое напряжение

$$[\sigma]_p'=R\frac{m}{n},$$

где R — расчетное сопротивление в сварном шве; в резервуарах из стали С 36/23, сваренных при контроле швов физическими методами, $R=21$ кгс/мм², а при визуальном методе контроля $R=18$ кгс/мм²; $m=0{,}8$ — коэффициент условия работы; n — коэффициент перегрузки, равный 1,1 для гидростатического давления жидкости; 1,2 — с учетом избыточного давления газов и вакуума, 1,4 — при расчете нагрузки от снега.

Если напряжение в сечении, ослабленном отверстием (рис. 37, *а*),

$$\sigma=\frac{pD}{2s}\left(\frac{h_п}{h_п-d}\right)\le[\sigma']_p. \qquad (114)$$

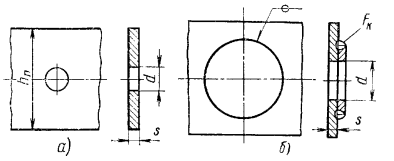


Рис. 37. Стенка резервуара, ослабленная отверстием диаметром d

где $h_п$ — высота пояса; d — диаметр отверстия, го отверстие не опасно, так как в месте выреза расчетное напряжение σ меньше допускаемого $[\sigma]_p$.

Если напряжение в сечении, ослабленном отверстием, больше $[\sigma]_p$, то пояс в зоне выреза целесообразно усиливать (рис. 37, *б*), например, кольцом.

Так как плоское днище резервуаров, установленных на песчаные и бетонные основания, не воспринимает усилий существенной величины, то их толщину назначают 4—8 мм в зависимости от диаметра и без дополнительной проверки прочности.

Резервуары большого диаметра можно проектировать с составными стенками в цилиндрической части, соединенными из двух тонких листов и более. Для повышения жесткости тонкостенных поясов в верхней малонагруженной части резер-

вуаров предусматриваются зиги, направленные по кольцу, позволяющие использовать листы толщиной 3 мм.

В некоторых конструкциях вертикальных резервуаров, например в баках, устанавливаемых на водонапорных башнях, днища выполняют сферическими. Напряжения в сферических днищах

$$\sigma = \frac{pD_0}{4s_0} \leqslant [\sigma']_p, \qquad (115)$$

где p — давление в рассматриваемой точке днища; s_0 — толщина днища; D_0 — диаметр сферической поверхности.

Для устранения напряжений сжатия значительной величины и напряжения изгиба применяют плавные сопряжения цилиндра с днищем по эллиптической кривой, что позволяет избежать напряжений сжатия в зоне сопряжения с цилиндром или довести их до незначительной величины.

В продольных швах труб от внутреннего давления создаются напряжения

$$\sigma = \frac{pD}{2s}. \qquad (116)$$

В кольцевых стыках труб от давления жидкости создается напряжение

$$\sigma_1 = \frac{pD}{4s}. \qquad (117)$$

При понижении температуры воздуха относительно температуры в период монтажа и сварки в кольцевых стыках в условиях жесткой заделки образуется напряжение

$$\sigma_2 = \alpha \Delta T E, \qquad (118)$$

где α — коэффициент линейного расширения металла; ΔT — изменение температуры; E — модуль упругости.

Если труба испытывает изгибающий момент от собственной массы и массы жидкости, то следует учитывать образование в кольцевых швах напряжений

$$\sigma_3 = \frac{M}{W}, \qquad (119)$$

где M — изгибающий момент от собственной массы трубы и жидкости, наполняющей ее; W — момент сопротивления сечения трубы.

Суммарное напряжение в кольцевых швах должно быть

$$\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 \leqslant [\sigma]'_p. \qquad (120)$$

Стенки трубопроводов рассчитывают с учетом расчетного сопротивления, равного $0{,}85—0{,}90\sigma_т$. Допускаемое напряжение при этом $[\sigma]_p = 0{,}9\sigma_т \frac{m}{n}$, $m =$ $= 0{,}9$ — коэффициент условий работы; при проходе через препятствие $m = 0{,}75$; n — коэффициент перегрузки; для газопроводов $n = 1{,}20$, для нефтепроводов $n = 1{,}15$.

Для немагистральных линий можно применять плоскосворачиваемые трубы. Толщина стенки такой трубы диаметром 150 мм составляет 2 мм, обычной — 6 мм; число стыков на 1 км трубопровода соответственно 4—6 и 85—125.

На рис. 38 показана цистерна с выпуклым днищем, а на рис. 39 — резервуар из алюминиевого сплава. Для уменьшения концентраторов напряжений широко применены соединения встык, а также втавр с разделкой кромок.

Резервуары с плавающей крышей вместимостью до 100 тыс. м³ и более применяют в большинстве случаев для нефтепродуктов, легко испаряющихся, работающих при невысоких положительных температурах. Используют также резервуары-хранилища в форме сфероидов, каплевидные, цилиндрические со сферическими крышами и другие сосуды, содержащие нефтепродукты (кипящие при

атмосферном давлении и низкой положительной температуре), резервуары, работающие при высоких давлениях (до 15 кгс/см² и выше).

Из высокопрочных сталей изготовляют резервуары-хранилища газов диаметром до 15 м и высотой 80 м. При небольших внутренних давлениях используют

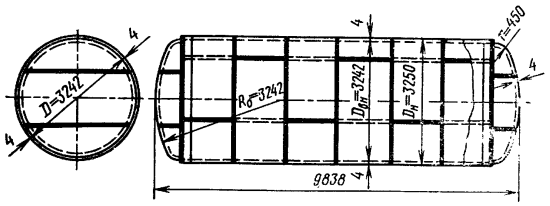


Рис. 38. Конструкция сварной горизонтальной цистерны

цилиндрические резервуары с плоскими днищами и выпуклыми крышами. В некоторых случаях резервуары углубляют в грунт, устанавливают в пещерах: при этом вода с внешней стороны способствует уравновешиванию внутреннего давления при его наличии.

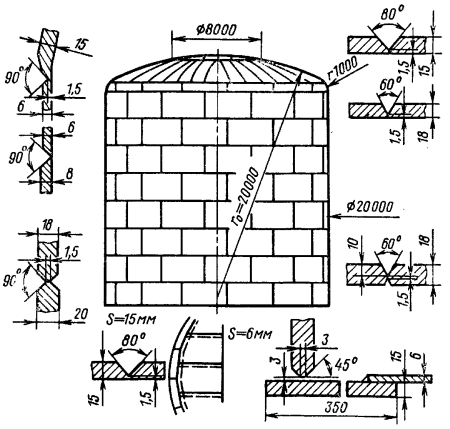


Рис. 39. Конструкция резервуара из алюминиевого сплава

Разработаны системы цилиндрических резервуаров с многослойными стенками (с применением в концах кованых царг); при этом цилиндрическая часть получается с помощью нескольких колец, насаженных в горячем состоянии, обеспечивающих плотную посадку и образование полезных остаточных напряжений в кольцах, прилегающих к внутренней части цилиндра. В других случаях цилиндрические части резервуаров изготовляют методом навивки из высокопрочной стальной ленты.

Сферические емкости, предназначенные для хранения жидкостей и газов, поддерживаются вертикальными или наклонными опорными стержнями; вместимость их достигает нескольких тысяч куб. метров. Прочность сферических резервуаров рассчитывают при повышенном коэффициенте запаса прочности по сравнению с цилиндрическими.

Испаряющиеся жидкости хранят в гортонсфероидах, имеющих каплевидную форму при относительно небольших толщинах стенок. Нередко верхняя часть сфероида имеет форму сферы, а нижняя — форму купола. Особо ответственные емкости небольших размеров подвергают термической обработке в специальных термических печах. При проектировании листовых конструкций необходимо предусматривать возможность их изготовления рулонным способом. В местах сопряжения оболочки применять плавные переходы для уменьшения концентрации напряжений. При сварке стыковых соединений надлежит производить двустороннюю укладку швов или подварку корня. Как правило, в листовых конструкциях рекомендуются стыковые соединения и лишь при толщине листов ≤ 5 мм нахлесточные соединения.

При проектировании рекомендуется предусматривать максимальное сокращение отходов при раскрое. Большую долю сварочных работ следует производить в заводских условиях.

Особенность работы сосудов заключается в том, что в результате деформации металла момент образования максимальных растягивающих усилий в стенках не совпадает с моментом максимального внутреннего давления.

В цилиндрическом сосуде

$$p=\frac{2\sigma_1 s}{D}, \qquad (121)$$

где σ_1 — напряжение в продольном шве; D — диаметр сосуда.

При определении несущей способности важно знать, какое из этих двух предельных состояний наступает раньше. Если деформационную характеристику материала аппроксимировать выражением $\sigma_i = A\varepsilon_i^{\bar{n}}$, то максимум давления должен достигаться раньше при деформации $\varepsilon_1 = \frac{\bar{n}}{2}$ для цилиндрического сосуда и при деформации $\varepsilon_1 = \frac{\bar{n}}{3}$ для сферического, тогда как максимум усилия, разрывающего стенку сосуда, будет достигаться на спаде давления при деформации $\varepsilon_1 = \bar{n}$ вне зависимости от формы сосуда. Таким образом предельная несущая способность сосуда зависит от показателя степени упрочнения материала n, а также от формы сосуда, предопределяющей соотношение компонентов напряжений двухосного растяжения. Предельная несущая способность цилиндрического сосуда может быть больше $\sigma_в$, если $\bar{n} < 0{,}26$, или меньше $\sigma_в$ при $\bar{n} > 0{,}26$; несущая способность сферического сосуда оказывается меньше $\sigma_в$ при всех значениях показателя $\bar{n}$.

16. Коэффициенты ψ_0

Сталь	$D/2s$				
	25	50	100	200	300
С 38/23	0,944	0,902	0,835	0,720	0,616
С 44/29	0,937	0,892	0,812	0,665	0,528
С 52/40	0,930	0,883	0,789	0,610	0,440

При действии продольных сжимающих сил, параллельно образующей тонкостенной цилиндрической оболочки, последнюю проверяют на устойчивость по формуле

$$\sigma_1 < m\sigma_{0,1}, \qquad (122)$$

где $m = 0{,}75 \div 1{,}00$ — коэффициент условия работы; σ_1 — расчетное напряжение в оболочке; $\sigma_{0,1}$ принимают равным наименьшей величине из следующих двух: $\psi_0 R$ или $cE\Big/\frac{D}{2s}$ (табл. 16); R — расчетное сопротивление.

Коэффициент c следующим образом зависит от $D/2s$:

c	0,30	0,22	0,18	0,16
$D/2s$	50	100	200	300

Круговую цилиндрическую оболочку под действием равномерного давления p с внешней стороны нормальной поверхности проверяют на устойчивость.

$$\sigma_2 = \frac{pD}{2s} \leq m\sigma_{0,2}. \qquad (123)$$

При $0{,}5 \leq \frac{2L}{D} \leq 10$

$$\sigma_{0,2} = 0{,}55E\frac{D}{2L}\left(\frac{2s}{D}\right)^2.$$

При $\frac{2L}{D} \geq 20$

$$\sigma_{0,2} = 0{,}17E\left(\frac{2s}{D}\right)^2.$$

При $10 < \frac{2L}{D} < 20$ $\sigma_{0,2}$ определяется линейной интерполяцией; L и s — соответственно длина и толщина цилиндрической оболочки.

Цилиндрическую оболочку, подвергаемую одновременно действию напряжений σ_1 и σ_2, проверяют на устойчивость по формуле

$$\frac{A}{\sigma_{0,1}} + \frac{B}{\sigma_{0,2}} \leq m, \qquad (124)$$

где $A = \frac{pD}{4s}$; $B = \frac{pD}{2s}$.

Устойчивость сферической оболочки под действием равномерного давления p, приложенного к внешней поверхности, проверяют по соотношению

$$\frac{pD}{4s} \leq m\sigma_0, \qquad (125)$$

где $m = 0{,}8 \div 1{,}0$ — коэффициент условий работы; $D/2$ — радиус сферы; s — толщина оболочки; $\sigma_0 = 0{,}1\frac{2Es}{D}$, но $\leq 0{,}9\sigma_т$.

СВАРНЫЕ ДЕТАЛИ МАШИН

В машиностроении широко используют сварные детали машин (рис. 40—44). При их проектировании необходимо широко применять легированные стали, в частности, в термически обработанном состоянии; учитывать, что рабочие размеры элементов часто определяются не условиями прочности, а условиями жесткости; при этом рабочие напряжения принимают значительно ниже допускаемых. Сварные детали, изготовляемые и обрабатываемые по высшим классам точности, подвергают термической обработке (отпуску в термических печах) для устранения изменения размеров в процессе эксплуатации. Для деталей, выпускаемых в значительном количестве, широко используют высокопроизводительные методы сварки (контактную, автоматическую под флюсом, в среде защитных газов); для конструкций из толстостенных элементов — электрошлаковую сварку, в особенности при толщине элементов свыше 40—50 мм.

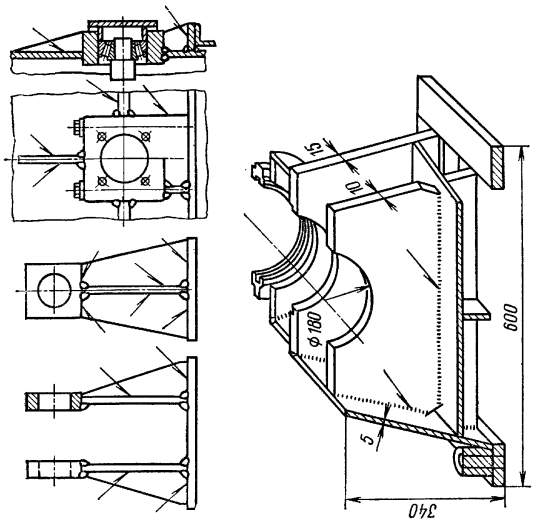


Рис. 41. Сварная подшипниковая опора

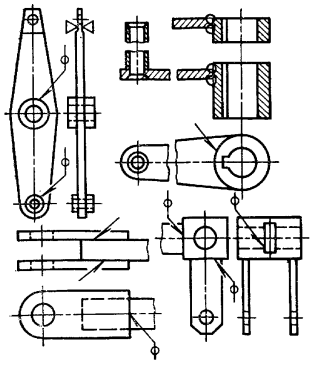


Рис. 40. Сварные тяги

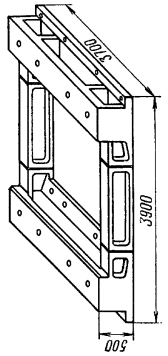


Рис. 42. Сварная плита

Барабаны в большинстве случаев сваривают из листов. В некоторых барабанах основой их служит каркас из профильного материала. Барабаны соединяют с торцовыми стенками, представляющими собой плоские круглые листы, к которым приварена цапфа. В конструкции, приведенной на рис. 43, барабан насажен

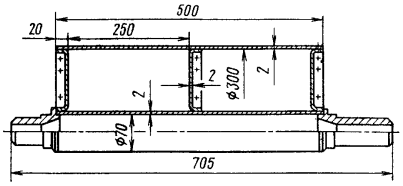


Рис. 43. Конструкция сварных барабанов

на вал, не имеющий разрывов. Для барабанов малых диаметров используют трубы или отливки, для барабанов средних и больших диаметров корпусы вальцуют из одного или нескольких листов.

В барабане шахтного подъемника для удобства навивки на поверхность предусмотрены канавки (рис. 44, *а*), соответствующие диаметру каната. Толщина листов барабана должна допускать их ослабление канавками.

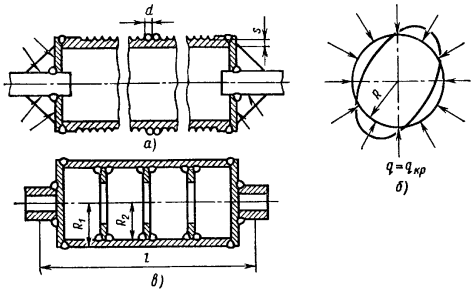


Рис. 44. Схема для расчета сварного барабана

Барабаны рассчитывают на сжатие, изгиб и кручение.

Напряжение сжатия в ободе

$$\sigma = \frac{P}{ds}, \tag{126}$$

где d — ширина обода, равная диаметру каната; s — толщина обода; P — сила натяжения каната.

Критическая распределенная сила (рис. 44, *б*), вызывающая потерю устойчивости барабана,

$$q_{кр} = \frac{3EJ}{R^3}, \tag{127}$$

где E — модуль упругости стали; R — радиус барабана.

В канате при запасе, равном 2, допустимая в отношении устойчивости сила

$$P_{доп} = \frac{E\,dR}{8}\left(\frac{s}{R}\right)^3. \tag{128}$$

Торцовые стенки повышают устойчивость барабана. Если $P \geqslant 0{,}5\,P_{кр}$, то барабан следует усилить с помощью кольцевых элементов жесткости (рис. 44, *в*). Наибольший изгибающий момент в середине пролета барабана

$$M = \frac{Pl}{4}, \tag{129}$$

где l — расстояние между опорами.

Напряжение от изгиба

$$\sigma = \frac{M}{W}. \tag{130}$$

Момент сопротивления барабана находится, как и в кольцевом сечении:

$$W = \frac{\pi}{4}\frac{(R_1^4 - R_2^4)}{R_1}. \tag{131}$$

где R_1 и R_2 — внешний и внутренний радиусы.

Если момент на вал передается с одной стороны, то крутящий момент

$$M_{кр} = PR_1; \tag{132}$$

при этом напряжение от кручения

$$\tau_{кр} = \frac{M_{кр}}{W_{кр}}, \tag{133}$$

где $W_{кр}$ — полярный момент сопротивления.

Для полого вала

$$W_{кр} = \frac{\pi}{2}\frac{(R_1^4 - R_2^4)}{R_1}. \tag{134}$$

Для крупногабаритных барабанов целесообразно применять электрошлаковую сварку. На рис. 45 изображен сварной барабан из стали 22Г лебедки шагающего экскаватора. Ступица *1* барабана и фланец *2* отлиты из стали 25Л; перед механической обработкой их подвергают термической обработке. После выполнения сварочных работ весь барабан вторично подвергают термической обработке.

Сварные зубчатые колеса и шкивы приведены на рис. 46. Внутренний диаметр ступицы соответствует диаметру шва. В качестве спиц используют штампованные профили, трубчатые стержни, тавры, двутавры. Ободы зубчатых колес часто вальцуют из толстостенных листов и сваривают встык электродуговой сваркой на контактных машинах (в некоторых случаях вручную). Ободы изготовляют из сталей повышенного сорта ковкой или вальцовкой, а также из углеродистых сталей 35, 45 и т. д. Соединения дисков со ступицами приведены на рис. 47. Подготовка кромок особенно рациональна при работе конструкций под переменными нагрузками. Центры зубчатых колес и шкивов обычно выполняют двустенными для увеличения жесткости. Термическую обработку зубчатых колес в печи для снятия остаточных напряжений производят до механической обработки и нарезки зубьев. Шкивы и маховики после сварки, как правило, отпуску не подвергают.

Сварное зубчатое колесо рассчитывают на касательное усилие, приложенное к зубу зацепления. Если число спиц менее четырех, то считают, что усилие T воспринимается полностью одной спицей. Расчетными усилиями в спице являются поперечная сила $Q = T$ и изгибающий момент $M = Tl$ (рис. 48).

Напряжение от момента M

$$\sigma = \frac{M}{J} y_{max}, \tag{135}$$

где J — момент инерции поперечного сечения спицы относительно оси X; y_{max} — максимальное расстояние.

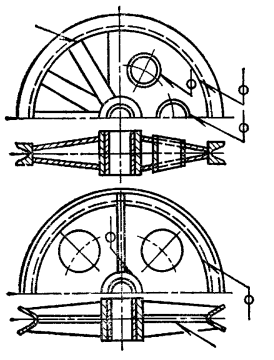


Рис. 46. Сварные зубчатые колеса и шкивы

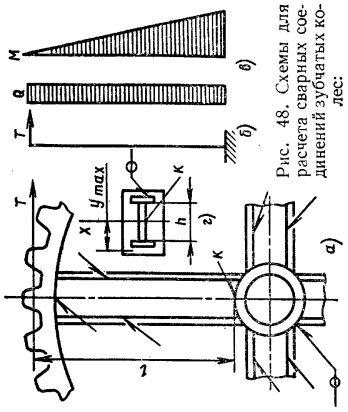


Рис. 48. Схемы для расчета сварных соединений зубчатых колес:

а — зубчатое колесо; *б* и *в* — эпюры Q и M по длине спицы; *г* — соединение спицы со ступицей

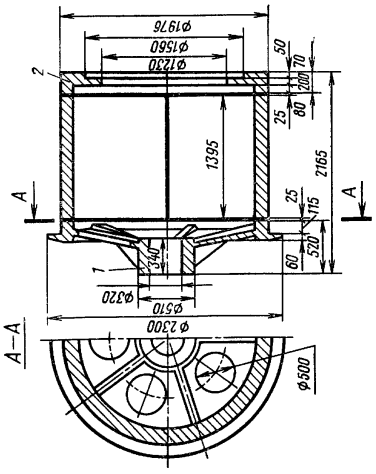


Рис. 45. Барабан лебедки

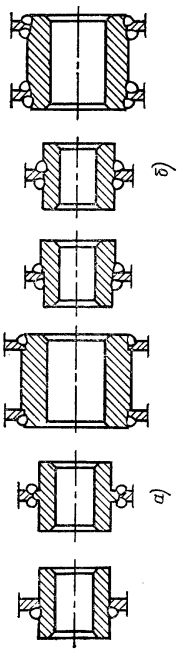


Рис. 47. Сварные соединения дисков со ступицами:

а — швы с подготовкой кромок; *б* — швы без подготовки кромок

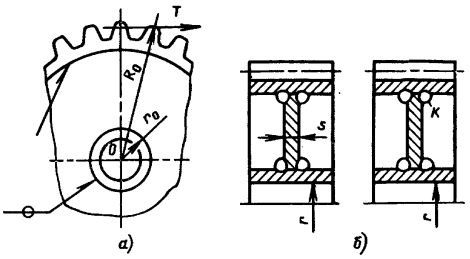


Рис. 49. Схемы для расчета сварных соединений центра со ступицей:

а — швы с подготовкой кромок; *б* — швы без подготовки кромок

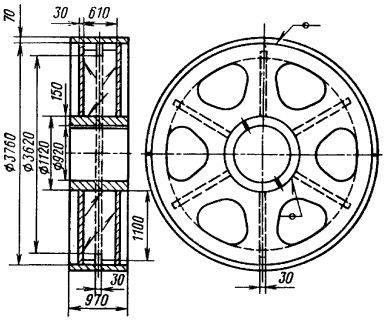


Рис. 50. Колесо, сваренное электрошлаковым способом

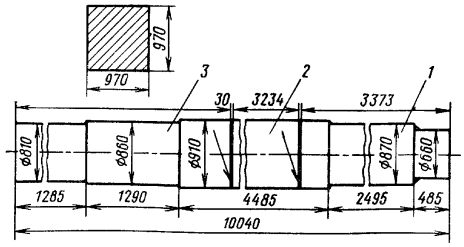


Рис. 51. Вал, сваренный электрошлаковым способом

Касательные напряжения в швах спицы, соединяющих ее пояс со стенкой,

$$\tau=\frac{QS}{2J\beta K}, \qquad (136)$$

где S — статический момент полки относительно центра тяжести сечения спицы.

В месте соединения спицы со ступицей следует определить напряжение в угловых швах от изгибающего момента M:

$$\tau=\frac{M}{J_c}(y_{max}+K), \qquad (137)$$

где J_c — момент инерции периметра шва относительно оси X.

Напряжение от поперечной силы проверяют с учетом швов, приваривающих стенку профиля. В конструкциях сварных зубчатых колес с центрами вместо спиц (рис. 49) наиболее нагруженными являются швы, соединяющие центр со ступицей. Они воспринимают крутящий момент

$$M_{кр}=TR. \qquad (138)$$

Напряжение в соединении ступицы с центром определяют, предполагая, что касательные напряжения распределены равномерно по длине шва. При этом напряжение в шве с подготовкой кромок

$$\tau=\frac{M_{кр}}{2\pi r_0^2 s}. \qquad (139)$$

Напряжения в угловых швах

$$\tau=\frac{M_{кр}}{4\pi r_0^2 \beta K}. \qquad (140)$$

При изготовлении различных крупногабаритных колес применяют электрошлаковую сварку (рис. 50). Ступицы сваривают из двух полуколец встык без подготовки кромок. Обод и ступицу после гибки и всю конструкцию после сборки и сварки перед окончательной механической обработкой подвергают также термической обработке.

17. Масса литых и сварных корпусов, кг

Деталь редуктора	Литье	Сварка
Корпус	50,3	27,8
Корпусная крышка	22,2	11,2
Всего	72,5	39,0

Сварка валов из отдельных деталей позволяет удешевить технологию производства и обеспечить однородное и стабильное качество продукции по сравнению со способом обработки их из целых поковок и отливок.

При изготовлении цилиндрических валов применяют электрошлаковую сварку (рис. 51), с помощью которой сваривают элементы *1—3*, представляющие собой поковки, подвергнутые термической обработке. После сварки вал снова подвергают термической обработке. Эффективные результаты достигаются при электрошлаковой сварке коленчатых валов. Масса сварнокованых валов составляет 35—40% от массы кованых. Механические свойства соединений обеспечивают надежную работу сварно-ковано-литых конструкций при эксплуатации под статическими и переменными нагрузками.

Корпусы редукторов, которые выполняли литьем, изготовляют в большинстве случаев сваркой, в особенности при единичном и мелкосерийном производстве, что позволяет значительно уменьшить массу корпусов (табл. 17). Корпус редуктора требует точного изготовления, поэтому после сварки его подвергают отпуску в термической печи. Механическую обработку производят после отпуска. Сварные редукторы изготовляют из прокатных элементов, гнутых и штампованных профилей.

Глава 9

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

ЗАГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ

Технологический процесс изготовления деталей из проката начинается с подбора металла по размерам и маркам стали и может включать следующие операции: правку, разметку, резку и обработку кромок, гибку и очистку под сварку.

Правку, как правило, производят в холодном состоянии, ограничивая относительное остаточное удлинение наиболее деформированных волокон величиной около 1% или радиусом изгиба, равным 50 толщинам листа. Если необходимо создать более значительные деформации, правку стали классов до С46/33 включительно выполняют после нагрева до 900—1000° С, а из стали классов С52/40 и С60/46 — после нагрева до 900—950° С. Волнистость листов и полос толщиной 0,5—50 мм устраняют при пропуске их между верхним и нижним рядами валков листоправильных машин путем многократного изгиба. Листы толщиной более 50 мм правят под прессом. Саблевидность (искривление в плоскости) поддается правке в ограниченной степени. При правке или гибке в вальцах листовых заготовок со стыковыми швами усиление шва может приводить к появлению трещин. Мелко- и среднесортовой, а также профильный прокат правят на роликовых машинах, работающих по той же схеме, что и листоправильные. Крупносортовой прокат правят на правильногибочных прессах путем изгиба.

Разметка. Индивидуальная разметка трудоемка. Наметка более производительна, однако изготовление специальных наметочных шаблонов и их хранение не всегда целесообразно. Применение разметочно-маркировочных машин с пневмокернером обеспечивает скорость разметки до 8—10 м/мин при точности ± 1 мм. Использование приспособлений для мерной резки проката, а также газорезательных машин с масштабной фотокопировальной системой управления или программным управлением позволяет обходиться без разметки.

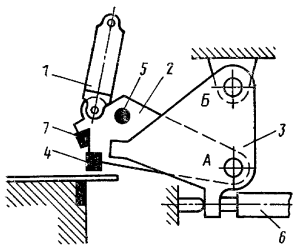


Рис. 1. Схема ножниц для резки со скосом кромки под сварку

Резка и обработка кромок. Механическую резку листовых деталей с прямолинейными кромками из металла толщиной до 40 мм, как правило, производят на гильотинных ножницах или пресс-ножницах. При длине отрезаемого элемента 1—4 м погрешность размера составляет ± (2,0 ÷ 3,0) мм при резке по разметке и ± (1,5 ÷ 2,5) мм при резке по упору. Прямой рез со скосом кромки под сварку можно получить, используя специальные ножницы (рис. 1). Гидроцилиндром *1* качающийся ножедержатель *2* поворачивается вокруг оси *А*, закрепленной в детали *3*, при этом обеспечивается прямой рез с помощью ножа *4*. Когда упор *5* ножедержателя упрется в выступ детали *3*, они повернутся вокруг оси *Б*, отжимая прижим *6*, и нож *7* совершит резку на скос. Дисковые ножницы позволяют вырезать листовые детали с непрямолинейными кромками толщиной до 20—25 мм. Для получения листовой детали заданной ширины с параллельными кромками дисковые ножи целесообразно располагать попарно на заданном расстоянии друг от друга. При поперечной резке фасонного проката применяют пресс-ножницы и комбинированные ножницы с фасонными ножами или дисковые пилы. В некоторых случаях резку производят гладким диском за счет трения, либо контактно-дуговым оплавлением. Производительным является процесс вырубки в штампах. При наибольшем размере деталей 1—4 м допускаемые отклонения могут соответственно составлять ± (1,0 ÷ 2,5) мм.

Разделительная термическая резка менее производительна, чем резка на ножницах, но более универсальна и применяется для получения стальных заготовок разных толщин как прямолинейного, так и криволинейного профиля. Наряду с газопламенной кислородной резкой все шире применяют плазменно-дуговую резку, позволяющую обрабатывать практически любые металлы и сплавы. Использование в качестве плазмообразующего газа сжатого воздуха обеспечивает не только экономические, но и технические преимущества, так как наряду с высоким качеством реза обеспечивается значительное повышение скорости резки, особенно при вырезке заготовок из сталей малой и средней толщины (до 60 мм). Недостатком воздушно-плазменной резки является насыщение поверхностного слоя кромок азотом, что способствует образованию пор при сварке. Это в большинстве случаев заставляет зачищать кромки под сварку стальной щеткой или подвергать их дополнительной механической обработке. Предотвращение пор в швах при сварке по кромкам, подготовленным воздушно-плазменной резкой, возможно и без зачистки кромок, однако в этом случае требуется четкое соблюдение ряда технологических рекомендаций [1].

Ручную и полуавтоматическую резку листов производят по разметке, автоматическую — с помощью копирных устройств, по масштабному чертежу или на машинах с программным управлением. Масштабные чертежи содержат информацию только о траектории, поэтому начало каждого отдельного реза приходится осуществлять вручную. Использование машин с цифровым программным управлением позволяет автоматизировать процесс в пределах всего листа без участия оператора при одновременном повышении точности реза. Для серийного производства в ряде случаев эффективно использовать резку листов пакетом суммарной толщиной около 100 мм. Кромки с односторонним или двусторонним скосом можно получить, используя одновременно два или три резака, располагаемых под соответствующими углами.

Механическую обработку кромок на станках производят: а) для обеспечения требуемой точности сборки; б) для образования фасок, имеющих сложное очертание; в) если технические условия требуют удаления металла кромки после резки (огневой или на ножницах).

Гибку листовых элементов толщиной 0,5—50 мм для получения цилиндрических и конических поверхностей осуществляют в листогибочных вальцах. При отношении радиуса изгиба к толщине листа $\frac{R}{\delta} \geqslant 25$ гибку выполняют в холодном состоянии, при меньшем значении — в горячем. При гибке в трех- или четырехвалковых вальцах участок листа *а* (рис. 2, *а*) остается почти плоским. Требуемая кривизна в месте продольного стыка достигается либо предварительной подгибкой кромок, либо путем калибровки уже сваренной обечайки. При использовании двухвалковых вальцов с упругим полиуретановым покрытием нижнего валка, которое обжимает листовую заготовку вокруг жесткого верхнего валка (рис. 2, *б*), для листов небольшой толщины обеспечивается равномерный изгиб по всей длине периметра. Листовые элементы с поверхностью двоякой кривизны получают гибкой в специальных вальцах с валками переменного сечения, горячей штамповкой, а также штамповкой взрывом. Горячую гибку толстого листового металла осуществляют на прессах. При поперечной гибке профильного проката и труб используют роликогибочные машины и трубогибочные станки. Применение специальных гибочных станков с местным индукционным нагревом позволяет сохранять форму поперечного сечения труб без искажений (рис. 3). Продольной гибкой получают гнутые профили разнообразных сечений, гофрированные листы,

Листовой и профильный прокат, а также заготовки под сварку можно очищать с помощью вращающихся механических щеток или в дробеструйных камерах. При необходимости последующего монтажа на открытом воздухе очистку дополняют нанесением антикоррозионного покрытия, позволяющего производить

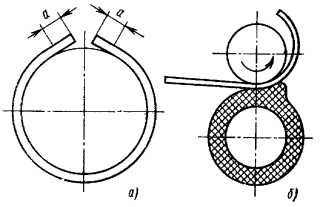


Рис. 2. Вальцовка обечаек

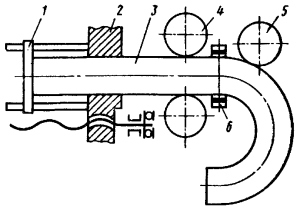


Рис. 3. Схема трубогибочного станка с индукционным подогревом:

1 — подвижный упор; *2* — зажим; *3* — труба; *4* — направляющие ролики; *5* — гибочный ролик; *6* — индуктор

сварку без его удаления. Очистку и грунтовку целесообразно выполнять в автоматизированных поточных линиях (рис. 4). Листы с рольганга *1* кантователем *2* переводятся в вертикальное положение с опорой на приводные ролики *3*, вращение которых обеспечивает продвижение листов через камеры: подогрева *4*, дробеметную *5*, грунтовки листов в электрическом поле *6* и терморадиационной сушки *7*.

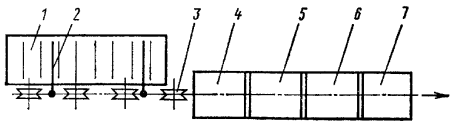


Рис. 4. Схема поточной линии очистки и грунтовки листового проката

Применяют также химическую очистку методом окунания и струйным методом. В первом случае детали последовательно опускают в ванны с различными растворами и выдерживают в каждом из них определенное время. Во втором случае последовательная подача растворов различного состава на поверхность деталей обеспечивается струйным методом, что позволяет осуществлять непрерывный процесс в механизированной поточной линии.

СБОРОЧНО-СВАРОЧНЫЕ ОПЕРАЦИИ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Сборочные операции осуществляют с целью обеспечения правильного взаимного расположения и закрепления деталей собираемого изделия. Применение механизированных приспособлений позволяет повысить производительность труда и улучшить качество сборки. Собранный узел должен обладать жесткостью и прочностью, необходимой как при извлечении его из сборочного приспособления и транспортировке к месту сварки, так и для уменьшения временных сварочных деформаций. Поэтому собранные детали наиболее часто фиксируют с помощью

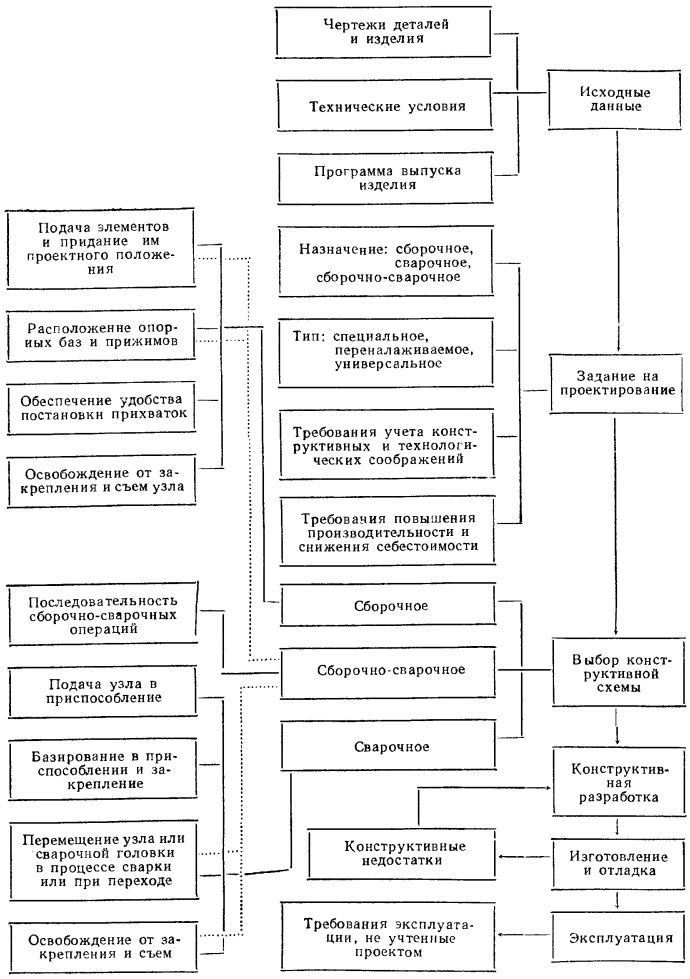


Рис. 5. Схема процесса проектирования сборочно-сварочных приспособлений

прихваток. Размеры и расположение прихваток выбирают из условий жесткости и прочности, а также из соображений их полной переварки при укладке основных швов. При использовании сборочно-сварочных приспособлений сварка непосредственно после сборки, без выема изделия из приспособления, позволяет в некоторых случаях обходиться без прихваток. Собранное под сварку изделие устанавливают в различные положения с помощью приспособлений. Сварочные приспособления обеспечивают не только кантовку изделия, но и перемещение сварочной головки относительно изделия или изделия относительно головки со скоростью сварки.

Эффективность использования сборочно-сварочной оснастки определяется ее соответствием конструкции изделия, принятой технологии изготовления и программе выпуска. Универсальные приспособления общего назначения используют для сборки и сварки изделий широкой номенклатуры и различных размеров. Они должны изготавливаться в централизованном порядке. Специальные приспособления одноцелевого назначения используют для выполнения определенных операций применительно к конкретному изделию. Схема процесса проектирования сборочно-сварочных приспособлений приведена на рис. 5. Значительные затраты труда, времени и материалов предопределяют индивидуальный подход к созданию приспособления при изготовлении изделий в условиях крупносерийного и массового производства. Для мелкосерийного и единичного производства целесообразно компоновать приспособления из нормализованных элементов, изготовляемых централизованно. В этом случае имеется возможность многократного использования нормализованных элементов в различных приспособлениях для изготовления изделий широкой номенклатуры.

При проектировании приспособления расчеты на прочность и жесткость должны отражать особенности его работы в зависимости от назначения. Для сборочного приспособления необходимо учитывать силу тяжести и усилия от прижимов применительно к прочности конструкции и ограничения искажений базовых размеров в пределах заданных допусков. Для сварочного приспособления дополнительно следует учитывать усилия, которые могут возникать в результате усадки изделия от сварки. При этом необходимо учитывать требования, предъявляемые к приспособлению для снижения сварочных деформаций изделия. Если цель уменьшения деформации не ставится, то следует предусмотреть возможность смещения изделия относительно приспособления в процессе сварки и остывания, либо допустить упругую деформацию приспособления совместно с изделием.

Приспособление, предназначенное для снижения сварочных деформаций изделия, должно обладать повышенной жесткостью. При этом надо иметь в виду следующее. Усилия от усадки оказываются настолько большими, что предотвратить продольное и поперечное сокращение за счет жесткости закрепления в приспособлении обычно не удается. Поворот сечений может быть ограничен в большей степени. Поэтому основное внимание следует обращать на предотвращение изгиба свариваемого изделия.

БАЛКИ

Широкое применение находят сварные двутавровые балки с поясными швами, выполняемыми автоматической сваркой под флюсом. Сборка балки должна обеспечить симметрию и взаимную перпендикулярность полок и стенки, прижатие их друг к другу и закрепление прихватками. При использовании сборочных кондукторов прихватку обычно выполняют после зажатия элементов по всей длине балки. На сборочных установках с самоходным порталом зажатие и прихватку осуществляют последовательно от сечения к сечению. Вертикальные ребра жесткости устанавливают и приваривают после сварки поясных швов. Приемы выполнения поясных швов балки автоматами под флюсом могут быть различны. Наклоненным электродом (рис. 6, *а* и *б*) можно одновременно сварить два шва, однако существует опасность возникновения подреза стенки или полки. Выполнение швов в положении «в лодочку» (рис. 6, *в*) обеспечивает лучшие условия их формирования и проплавления, но при этом приходится поворачивать изделие после сварки каждого шва.

При раздельном выполнении сборки и сварки двутавровой балки в универсальных приспособлениях доля затрат на выполнение вспомогательных и транспортных операций оказывается весьма значительной. Использование поточных

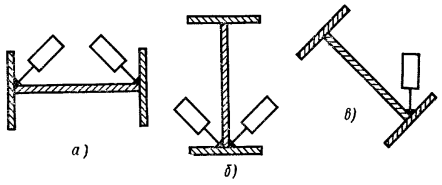


Рис. 6. Приемы выполнения швов двутавровой балки

линий, оснащенных специализированным оборудованием и транспортирующими устройствами, позволяет существенно сократить эти потери. Применительно к изготовлению тавровых или двутавровых балок поточные линии можно оснащать специализированными приспособлениями и установками, последовательно выполняющими отдельные операции при условии комплексной механизации всего технологического процесса, либо автоматизированными установками непрерывного действия. Примером поточной линии первого типа может служить производство сварных двутавровых балок длиной до 12 м, с высотой стенки 0,6—2,0 м и

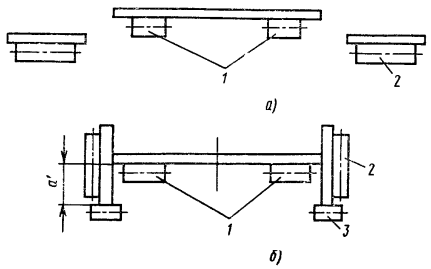


Рис. 7. Схемы опорных баз питателя

шириной полок 0,22—0,6 м. Сборочный участок имеет два последовательно расположенных рабочих места: питатель и сборочный стан. Питатель служит для приема трех листовых элементов в горизонтальном положении, поворота полок на 90° и подачи всех трех элементов в сборочный стан. Опорными базами питателя служат ролики (рис. 7, *а*). При повороте роликов *2* (рис. 7, *б*) полки переводятся в проектное положение с опорой их кромок на ролики *3*. Выдача всех трех элементов из питателя осуществляется приводом опорных роликов *1* и *3*. При настройке питателя на прием балок заданного типоразмера изменение высоты стенки обеспечивается поперечным перемещением правой и левой групп роликов относительно оси симметрии, а изменение ширины полки — вертикальным перемещением роликов *3*. Управление механизмами переналадки осуществляется оператором с пульта.

В сборочном стане элементы балки принимаются системой роликов (рис. 8, *а*), расположенных так же, как ролики питателя; привод движения обеспечивается вращением первой пары прижимных роликов *2*. Положение элементов при сборке задается системой опорных баз и прижимов. В результате опускания роликов *1* стенка балки ложится на магнитный стол *4* (рис. 8, *б*), притяжение которого фиксирует ее положение и устраняет волнистость. Подъемники *5* приподнимают полки над роликами *3* (см. рис. 8, *а*), обеспечивая симметрию их расположения относительно стенки. Сборка завершается зажатием элементов по всей длине гидроцилиндрами роликов *2* (рис. 8, *б*) и постановкой прихваток. После выключения магнитного стола и отхода прижимных роликов *2* ролики *1* приподнимают балку, и она выдается из стана (рис. 8, *в*).

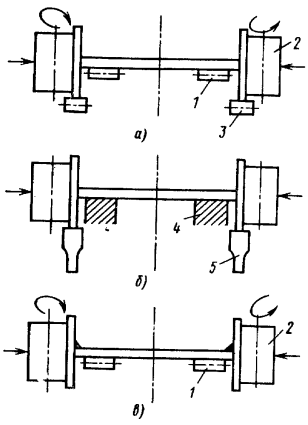


Рис. 8. Схемы расположения опорных баз и прижимов сборочного стана

На четырех рабочих местах сварочного участка последовательно выполняют поясные швы балки в положении «в лодочку». Так как первым желательно выполнять шов со стороны, противоположной расположению прихваток, то балку последовательно устанавливают в положения, показанные на рис. 9. Поворот на 180° осуществляется кантователем, перекладывающим балку с одного рольганга на другой, расположенный параллельно. Рольгангом балка передается от одной сварочной установки к другой. На каждой из них рычаги *1* кантователя (рис. 10) снимают балку *2* с рольганга, подают ее к сварочной головке *3*, а после сварки возвращают на рольганг. Вдоль балки сварочная головка перемещается тележкой *4* с площадкой для сварщика.

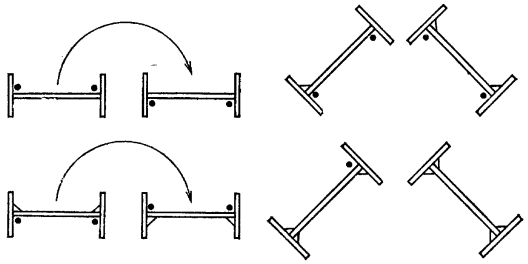


Рис. 9. Положения балки на сварочном участке

Для высокопроизводительного изготовления сварных балок в непрерывных автоматических линиях сварка ТВЧ обеспечивает скорость на порядок выше (10—60 м/мин), чем при сварке под слоем флюса.

Американской фирмой АМФ — Терматул выпущены агрегаты для производства сварных двутавров из рулонного проката или обычных полос и листов [3].

При использовании рулонов заготовки для стенки и полок двутавра подают к сварочному агрегату из трех разматывателей. Непрерывность процесса обеспечивается наличием накопителя петлевого типа и стыковой сваркой концов рулонов. Более толстые и жесткие заготовки полок можно подавать из питателя поштучно. В процессе сварки эти заготовки проходят сварочный агрегат, плотно прижатые торцами друг к другу. В месте расположения непроваренного стыка полок остаются небольшие непроваренные участки поясного шва. В зону сварки полки поступают под углом 4—7° к кромкам стенки (рис. 11). С помощью скользящих контактов *1* и *2* ток подводят к одной из полок и отводят от другой. Сварка элементов обеспечивается обжимными роликами, осуществляющими осадку стенки (рис. 12). При непосредственной приварке полки к стенке (рис. 13, *а*) сварное соединение приобретает неблагоприятную форму. Холодная осадка кромки стенки с увеличением ее толщины с зачисткой соединения после сварки в горячем состоянии позволяет обеспечить плавный переход от стенки к полке (рис. 13, *б*).

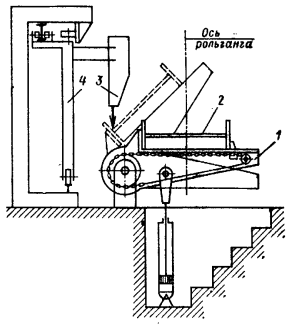


Рис. 10. Схема кантователя на 45°

Принципиальное отличие отечественной технологии производства сварных двутавровых балок заключается в применении высокочастотного индукционного нагрева свариваемых кромок без скользящих контактов и фиксации полки относительно стенки за выступ прокатного тавра (рис. 13, *в*) вместо фиксации полки за наружные кромки. Такая технология была отработана на опытно-промышленной

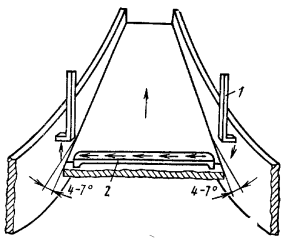


Рис. 11. Схема подвода тока в зону сварки

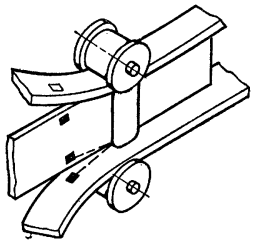


Рис. 12. Схема непрерывного процесса изготовления двутавровых балок из трех полос

установке ВНИИметмаш и ИЭС им. Е. О. Патона. Для ее реализации строится цех производства сварных двутавров.

Балки коробчатого сечения используют в конструкциях, в частности в крановых мостах. При значительной длине таких балок полки и стенки составляют из нескольких листовых элементов, свариваемых встык. Сборка балки начинается с укладки на стеллаж верхнего пояса и расстановки и приварки к нему диафрагм. После приварки диафрагм устанавливают, прижимают и прихватывают боковые

стенки (рис. 14, *а*). Затем собранный П-образный профиль кантуют и внутренними угловыми швами стенки приваривают к диафрагмам (рис. 14, *б*). Сборку заканчивают установкой нижнего пояса. Поясные швы сваривают после завершения сборки. Балку в положение «в лодочку» не поворачивают; сварку ведут наклонным электродом. При изготовлении балок коробчатого сечения все основные операции по заготовке листовых элементов, сборке и сварке их встык для получения длинномерных полок и стенок с последующей общей сборкой и сваркой полноразмерных балок моста крана выполняют в механизированных поточных линиях

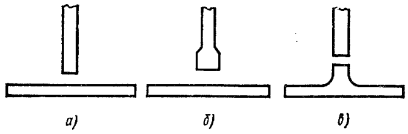


Рис. 13. Схемы подготовки кромок под соединение стенки балки с полкой

с использованием автоматической сварки под слоем флюса. Узким местом производства таких балок является приварка диафрагм к стенкам втавр угловыми швами. Ограниченность расстояния между стенками затрудняет применение автоматической сварки в нижнем положении, а вручную сварщику приходится выполнять эти швы в неудобном положении. Тавровое соединение целесообразно выполнять в вертикальном положении сразу после сборки (рис. 15). Это позволяет исключить операцию кантовки балки и выполнять одновременно два угловых шва с помощью гравитационной сварки покрытым электродом или автоматической сваркой в среде CO_2. Предложение заменить угловые швы (рис. 15, *а*) проплавными электрозаклепками (рис. 15, *б*), при условии создания отбортовки кромок диафрагм, пока еще не нашло применения в производстве.

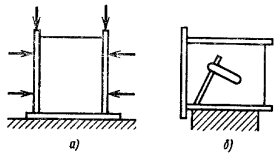


Рис. 14. Схемы сборки балки коробчатого сечения

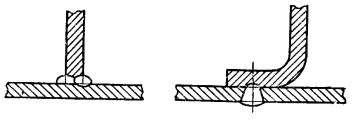


Рис. 15. Схемы соединения диафрагм с боковыми стенками

При монтаже конструкций приходится сваривать стыки балок. Типы стыков двутавровых балок показаны на рис. 16. Раздвинутый стык применяют как технологический (рис. 16, *б*); при монтаже используют совмещенный стык (рис. 16, *а*), выполняемый ручной сваркой покрытым электродом. При этом последовательность сварки стыковых швов поясов и стенки назначают из следующих соображений. Если в первую очередь сварить стыки поясов, то стык стенки придется выполнять в условиях жесткого закрепления, что при неблагоприятных условиях может способствовать образованию трещин в процессе сварки. При другой последовательности, когда стык стенки сваривают первым, в стыках поясов от поперечной усадки возникают большие остаточные напряжения растяжения, что может снизить усталостную прочность при работе на изгиб. С целью облегчения условий сварки стыка участки поясных швов на длине L иногда не доваривают, выполняя их после сварки стыковых швов. Остаточные напряжения в этом случае окажутся меньше, чем при жестком закреплении, однако для элементов, свариваемых в первую очередь, возможна потеря устойчивости под напряжением сжатия. Для каждого

конкретного случая в зависимости от перечисленных факторов (свариваемости, условий работы стыка балки в конструкции, размеров поперечных сечений элементов и т. д.) оптимальная технология выполнения стыка может быть различной. Стык, показанный на рис. 16, *в*, применяют сравнительно редко, когда требуется исключить использование ручной сварки. Наличие вставок вертикальной стенки

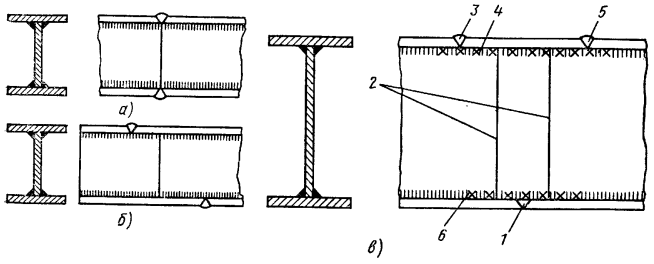


Рис. 16. Типы стыков сварных балок

и верхнего пояса позволяет выполнять швы автоматами, причем пояса сваривают многопроходной сваркой, а стыки стенки — однопроходной с принудительным формированием. Последовательность выполнения швов показана на рис. 16, *в* цифрами.

Иногда монтажные соединения сварных или прокатных профилей собирают на болтах с целью их разборки в случае необходимости. Соединение осуществляют с помощью вспомогательных элементов — накладок; совпадения отверстий достигают сверлением по кондуктору. Частным случаем стыков балок является стык рельсов. Сварку рельсов выполняют преимущественно оплавлением с подогревом на контактных стыковых машинах мощностью 300—600 кВА. Подготовку рельсов, сварку и последующую обработку стыков производят в поточных механизированных линиях специальных рельсосварочных предприятий и рельсосварочных поездов. Их задачей является сварка плетей бесстыкового пути, сварка новых рельсов в звенья длиной 25, 37 и 50 мм, а также сварка годных старых рельсов, снятых с пути. Наряду со сваркой рельсов в стационарных условиях значительное развитие получила контактная сварка с помощью передвижных машин ПРСМ. Схема сварочной головки с контурным трансформатором показана на рис. 17. После опускания головки на стык перемещение штоков цилиндров *1* вызывает поворот рычагов вокруг оси *3* и зажатие стыкуемых рельсов *5*. Перемещение при оплавлении и последующей осадке осуществляется гидравлическими цилиндрами *2* вдоль направляющих *4*.

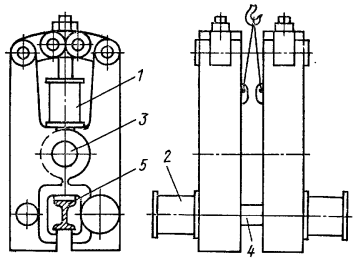


Рис. 17. Схема подвесной сварочной головки для сварки стыков рельсов в пути

РАМЫ

Сварные рамы представляют собой систему жестко соединенных балок (сварных или прокатных). Сборочная оснастка разнообразна. В случае малой повторяемости изделий для сборки можно эффективно использовать универсальный сборочный стенд и передвижной портал с пневмозажимами. Перенастройка стенда обеспечивается установкой различных фиксаторов, упоров на его плите.

Для поворота рамных конструкций в удобное для сварки положение используют различные манипуляторы, позиционеры и кантователи. Значительные размеры рам по ширине заставляют принимать специальные меры, облегчающие

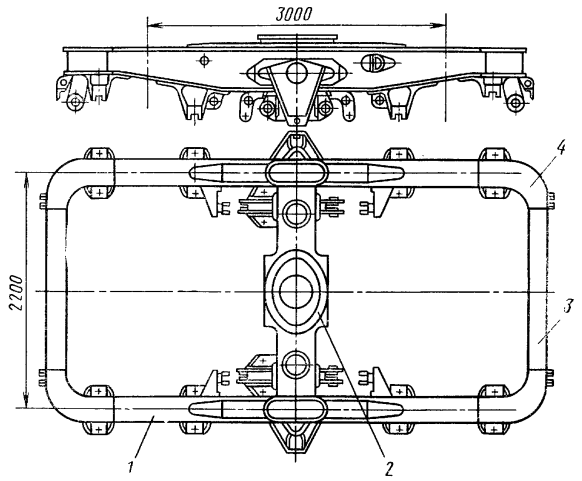


Рис. 18. Рама двухосной тележки электровоза

доступ к месту сварки. Для этой цели используют передвижные подъемные площадки для сварщиков, позиционеры располагают в специальных углублениях с тем, чтобы сварку можно было производить на уровне пола, применяют наклоняющиеся или подъемно-поворотные устройства. Наиболее целесообразной формой организации производства с большим выпуском изделий определенного типоразмера является механизированная поточная линия, оснащенная специализированной оснасткой. Рамы транспортных конструкций испытывают многократное воздействие динамических нагрузок. В этих условиях для надежной работы сварной конструкции требуется такое конструктивное оформление и технология сборки и сварки, которые обеспечивают минимальную концентрацию напряжений. Возможности совершенствования конструкции и технологии изготовления таких рам можно видеть на следующем примере. Рама тележки электровоза ВЛ 80 (рис. 18) имеет боковины *1*, литой шкворневой брус *2* и два концевых бруса *3*. Боковины и концевые брусья представляют собой сварные балки коробчатого сечения: их подают на сборку в готовом виде. Плавный переход от боковин к концевым брусьям осуществляют с помощью угловых вставок *4*, свариваемых с основными элементами встык односторонней сваркой на остающейся подкладке. Однако

в таких соединениях концентрация напряжений сравнительно высокая, что может служить причиной появления усталостных трещин. Изменение конструкции рамы и последовательности сборочно-сварочных операций, как показано на рис. 19, позволяет избежать стыков с односторонней сваркой. В этом случае вертикальные листы боковин и концевых брусьев образуют наружный и внутренние стеновые блоки (рис. 19, *б* и *в*), сваренные двусторонними стыковыми швами. Из горизонтальных листов можно собрать и сварить двусторонними швами верхний и нижний поясные блоки (рис. 19, *а* и *г*). Общая сборка всех блоков (рис. 19, *д*) завершается выполнением угловых швов.

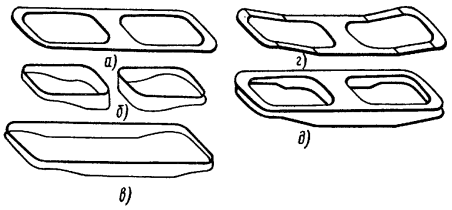


Рис. 19. Последовательность сборочно-сварочных операций при изготовлении рамы

Рамы грузовых автомобилей имеют продольные балки — лонжероны в виде штампованного швеллера и поперечины, присоединяемые с помощью заклепок [10]. Замена заклепочных соединений сваркой без изменения конструкции не приводит к существенному увеличению усталостной прочности рамы. В сварной раме основные конструктивные изменения претерпевают поперечины рамы. Исследования показали, что лучшие результаты дает использование поперечин трубчатого сечения, привариваемых контактной сваркой оплавлением к вертикальной стенке лонжерона. В рамах, имеющих поперечины открытого профиля, присоединение их к продольным балкам осуществляют точечной или рельефной контактной сваркой.

РЕШЕТЧАТЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Решетчатые конструкции — фермы, мачты, башни и другие изготовляют главным образом из проката, а также из гнутых профилей открытого и замкнутого сечений. Как правило, решетчатые конструкции имеют короткие швы, различным образом ориентированные в пространстве, их выполняют вручную или полуавтоматом. Для этого необходима кантовка изделия. Расширяется использование труб. При подготовке труб к сборке и сварке требуется фигурная обрезка концов на специальных газорежущих машинах. Иногда концы труб относительно небольших диаметров сплющивают, что упрощает их соединение в узлах дуговой сваркой. Сплющенные по концам трубы можно соединять в пространственный узел ванной сваркой (рис. 20). В этом случае торцы сплющенных частей образуют ограниченное с боковых сторон пространство, куда в процессе сварки вводят электрод или гребенку электродов.

В современных уникальных решетчатых конструкциях находят применение трубы больших диаметров. Так, опоры буровых вышек для добычи нефти в Северном море на глубинах порядка 150 м и более сооружают из труб диаметром до 4270 мм при толщине стенок до 64 мм. Крупногабаритные узлы этих вышек изготовляют в условиях завода при широком использовании автоматической сварки под слоем флюса, а затем транспортируют по морю к месту монтажа.

При сборке ферм стремятся обеспечить правильное центрирование стержней в узлах. При малом числе одинаковых изделий в серии используют простейшие приспособления и метод копирования. При достаточно большом числе выпускаемых ферм одного типоразмера экономически целесообразно использовать более сложную и производительную оснастку. Схема приспособления с двумя стендами *1* и *3* и кантующей рамкой *2* приведена на рис. 21. Сборку осуществляют на стенде *1*. Элементы фермы раскладывают по упорам и фиксаторам, одновременно зажимают включением пневмоприжимов и жестко соединяют швами, оказавшимися в нижнем положении. С помощью рамки *2* собранную ферму сначала ставят в вертикальное положение, а затем передают на стенд *3*, причем в каждом из этих положений выполняют соответствующие швы. Сборку следующей фермы на стенде *1* производят одновременно со сваркой на позициях *2* и *3*.

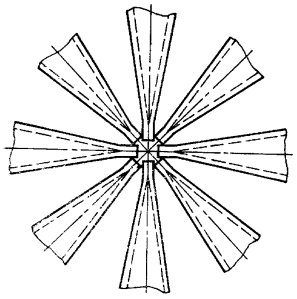


Рис. 20. Соединение концов труб в пространственный узел ванной сваркой

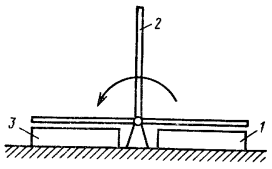


Рис. 21. Схема приспособления для сборки ферм

Использованию механизированных поточных методов при изготовлении ферм препятствует не только разнообразие типоразмеров и ограниченное число изделий в серии, но и малая технологичность типовых конструктивных решений. Однако

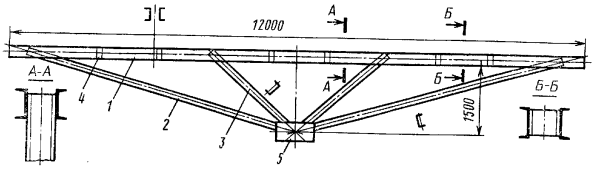


Рис. 22. Типовая стропильная ферма

эти препятствия преодолимы [16], что можно видеть на примере типовой стропильной фермы (рис. 22), разработанной в ЦНИИСКе. Предусмотрены четыре типоразмера фермы под разную нагрузку, отличающиеся сечением используемых профилей, тогда как размеры $l = 12$ м и $h = 1{,}5$ м остаются неизменными. Верхний пояс *1* состоит из двух горячекатаных швеллеров, нижние пояса *2* и раскосы *3* — из одиночных гнутых швеллеров. Короткие отрезки таких швеллеров использованы как диафрагмы верхнего пояса *4*; нижний узел объединен косынками *5*. Рациональная схема фермы из ограниченного числа элементов позволяет механизировать сборку и выполнять соединения контактной точечной сваркой непосредственно в сборочном кондукторе без кантовки фермы. Компоновки из таких ферм

позволяют перекрывать пролеты длиной более 12 м, что расширяет потребность в таких фермах до сотен тысяч в год, обеспечивая эффективность их крупносерийного производства в автоматизированной поточной линии.

В условиях завода арматуру железобетона (сетки, плоские и пространственные каркасы) обычно сваривают контактной сваркой в поточных и автоматических линиях. В элементах сборного железобетона жилых зданий предусматривают закладные детали, располагаемые в местах примыкания одного элемента к другому. При монтаже эти закладные детали сваривают дуговой сваркой. В промышленных и энергетических сооружениях из сборного железобетона стыковку элементов осуществляют сваркой арматурных стержней, выступающих из каждого сборного элемента. Сварка может производиться при горизонтальном и вертикальном положении стержней или под углом друг к другу. В этом случае, а также и при монтаже каркасов монолитного железобетона применяют электродуговую, ванную или электрошлаковую сварку.

НЕГАБАРИТНЫЕ ЕМКОСТИ И СООРУЖЕНИЯ

При изготовлении емкостей и сооружений больших размеров из листового проката целесообразно возможно больший объем работ выполнять в условиях завода-изготовителя. Для этого каждую конструкцию расчленяют так, чтобы отправочные элементы имели возможно бо́льшие размеры, но в пределах габарита железнодорожного подвижного состава. Для листовых полотнищ толщиной до 16—18 мм стремление увеличить размеры отправочных элементов привело к разработке метода рулонирования, получившего в нашей стране весьма широкое применение. Крупные узлы конструкции в виде полотнищ большого размера собирают, сваривают и сворачивают в рулон на специальных установках. Схема такой установки показана на рис. 23. Необходимость сварки с двух сторон предопределяет наличие двух ярусов *1* и *2*, а также поворотного кружала *3* для передачи полотнища с одного яруса на другой с поворотом на 180°. Перемещение полотнища и его сворачивание обеспечивается рабочим кружалом *4*. На двух ярусах *1* и *2* расположены четыре рабочих участка: сборки, сварки с одной стороны, сварки с другой стороны, контроля и исправления дефектов. Сворачивание рулона производят периодически после завершения работ на каждом из участков. При этом полотнище наворачивают на вспомогательный элемент, закрепляемый в рабочих кружалах. Размеры свариваемого и сворачиваемого в рулон полотнища определяют из условия рационального членения конструкции цилиндрического резервуара в зависимости от размеров емкости с тем, чтобы масса рулона не превышала 40—65 т.

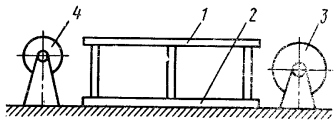


Рис. 23. Схема установки для сборки и сварки полотнищ

Боковые стенки листовых конструкций башенного типа также выполняют из нескольких полотнищ, каждое из которых имеет длину, равную периметру боковой стенки.

Расположение листов в полотнище, их толщина и типы соединений определяются как конструктивными, так и технологическими соображениями. Листы толщиной более 7—8 мм собирают и сваривают встык, а более тонкие — внахлестку.

Для сварки встык кромки листов подвергают механической обработке пакетом. Сварку под флюсом осуществляют сварочными тракторами. Первый слой стыковых соединений выполняют на флюсо-медной подкладке либо на весу. Сварка стыковых швов с противоположной стороны на другом ярусе стенда обеспечивает

надежное проплавление всей толщины листа. На последнем рабочем участке двухъярусного стенда предусмотрен контроль внешним осмотром и испытание на плотность вакуум-аппаратом. Обнаруженные дефекты уточняют просвечиванием и исправляют.

Усовершенствованная двухъярусная установка обеспечивает комплексную механизацию процесса изготовления полотнищ. Все соединения сваривают встык. Их расположение и последовательность сварки показаны на рис. 24. Включением сворачивающего механизма кромку ранее собранной части полотнища устанавливают над медной подкладкой устройства *4* для сварки поперечного шва (рис. 25) и прижимают к ней рычажными пневмоприжимами. Листы из всех контейнеров *1* с помощью вакуумных захватов за один ход кран-балки *2* подают на место *3* сборки. Сборку осуществляют два боковых *6* и один задний *7* толкатели, сдвигающие листы до упора друг в друга и в кромку ранее собранного полотнища. После зажатия второй кромки поперечного стыка его сваривают автоматом под

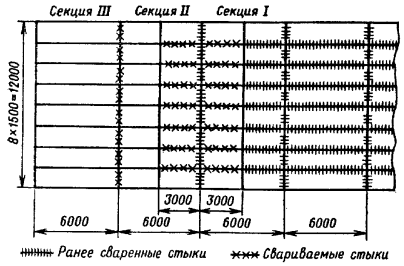


Рис. 24. Расположение соединений и последовательность сварки на двухъярусной установке

флюсом. За время сборки и сварки поперечного стыка на рабочем месте *5* сваривают все продольные швы. Для этого катучую балку, несущую направляющие двух сварочных головок и зажимные устройства, последовательно устанавливают над каждой парой продольных швов, прижимают кромки к медной подкладке и осуществляют сварку. На нижнем ярусе стенда предусмотрены рабочие места *8* и *9* соответственно для сварки поперечного и продольного швов с другой стороны.

При монтаже вертикальных цилиндрических резервуаров рулон элементов днища укладывают на основание и раскатывают в последовательности, определяемой расположением элементов в рулоне. Элементы днища соединяют сварочным трактором под флюсом с одной стороны. Рулон боковой стенки резервуара ставят в вертикальное положение и по мере разворота его нижнюю кромку прихватывают к днищу. Верхнюю кромку развернутой части боковой стенки закрепляют установкой элементов щитовой кровли или закрепляют расчалками.

При монтаже цилиндрических сооружений башенного типа из-за наличия кольцевых стыков между монтажными блоками требования к точности изготовления полотнищ и к приемам разворачивания рулонов оказываются более высокими. После заварки замыкающего продольного шва на уровне земли монтажный блок поднимают краном и устанавливают в проектное положение. Сварку кольцевого шва осуществляют с двух сторон: с наружной стороны обечайки— покрытыми электродами вручную, а внутри обечайки — полуавтоматами в углекислом газе.

Для цилиндрических резервуаров вместимостью более 50 тыс. м³ метод рулонирования пока использовать не удается из-за значительной толщины листов нижних поясов. Применение высокопрочных сталей или конструктивных новшеств, возможно, позволит применить метод рулонирования и для более крупных цилиндрических резервуаров. За рубежом цилиндрические резервуары (вместимостью 200 тыс. м³) сооружают полистовым методом [5]. Листы толщиной до 40 мм

очищают от окалины, обрезают кромки автоматической кислородной резкой, вальцуют, окрашивают и маркируют. Листы толщиной до 14 мм имеют V-образную разделку кромок, при большей толщине Х-образную. Большинство швов днища выполняют сваркой под флюсом, горизонтальных швов боковой стенки — также под флюсом с флюсоудерживающим устройством или в CO_2; вертикальные швы боковой стенки преимущественно сваривают с принудительным формированием шва дуговой сваркой под флюсом или в CO_2.

В нашей стране сооружают сферические резервуары вместимостью 600 и 2000 м³ на внутреннее давление до 18 кгс/см². Тип раскроя оболочек приведен

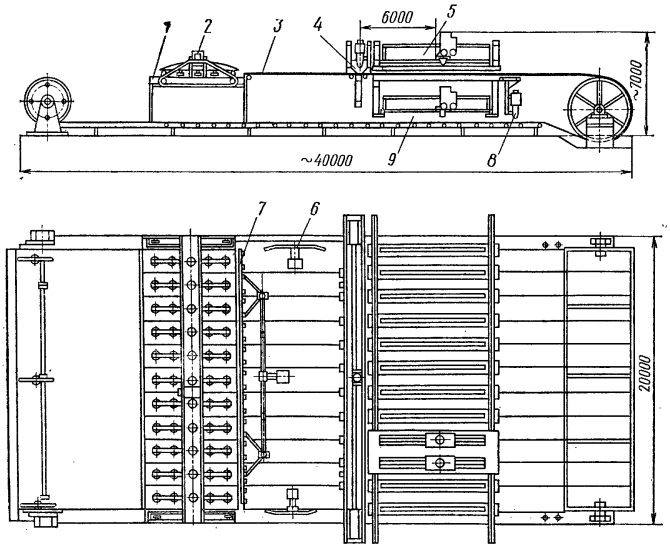


Рис. 25. Схема усовершенствованной двухъярусной установки

в табл. 1. Сферическую поверхность листовым заготовкам при толщине до 36 мм придают горячей штамповкой (типы раскроя *а* и *в*), при толщине до 28 мм — вальцовкой на специальных гибочных вальцах со сферическими валками (раскрой *б*). В последнем случае плоскую заготовку предварительно сваривают из листов, вырезают газовой резкой по копиру и затем вальцуют.

При раскрое типа *а* укрупнение блоков и их сварку под флюсом выполняют на шарнирно-качающихся стендах. Блоки собирают в полусферу на стенде (рис. 26), подварку швов под последующую автоматическую сварку осуществляют вручную. После завершения сборки нижнюю полусферу кантуют и устанавливают на временную опору. На этом же стенде собирают верхнюю полусферу, затем поднимают ее и монтируют на нижнюю. Сборка заканчивается ручной подваркой замыкающего шва.

При раскрое типа *б* лепестки также предварительно укрупняют в блоки, причем для сферы вместимостью 2000 м³ каждый меридиональный лепесток собирают

из двух заводских элементов (большого и малого). Для этого типа раскроя получил применение «вертикальный» способ сборки сферы. На временной опоре *1* (рис. 27) устанавливают нижнее днище *2*, к нему крепят трубчатую монтажную стойку *3*

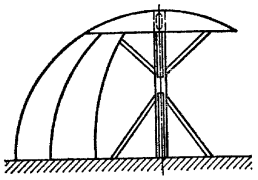


Рис. 26. Схема сборки полусферы на стенде

1. Типы раскроя оболочек

Вместимость, м³	Диаметр сферы, м	Число элементов		
		а)	*б)*	*в)*
600	10,5	28	20	—
2000	16,0	—	54	—

с верхним днищем *4* и монтажной люлькой *5*. Блоки *6* с распорками жесткости *7* поднимают в вертикальное положение и крепят с помощью сборочных планок и клиньев к днищам и друг к другу, а также временными прихватками к опорам *8*, устанавливаемым на фундаменте. Затем блоки соединяют прихваточным швом, а перед установкой последнего блока удаляют трубы жесткости, монтажную стойку и люльку.

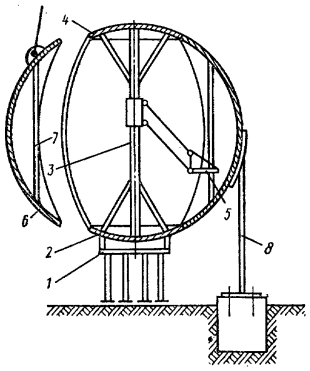


Рис. 27. Схема сборки сферического резервуара

Сварку сферических резервуаров вместимостью 600—2000 м³ выполняют автоматом под флюсом с двух сторон при вращении сферы на специальном манипуляторе, домкратное устройство которого приподнимает сферу над опорами после удаления временных прихваток. При толщине элементов 16 мм разделку кромок не осуществляют. При толщине 25 мм используют V-образную разделку при толщине 34 мм — Х-образную. Последовательность выполнения швов следующая. Сначала выполняют меридиональные швы со стороны разделки кромок в несколько слоев. С другой (внутренней) стороны подварку корня шва производят без вырубки его за счет глубокого проплавления. Затем сваривают широтные и полюсные соединения. При выполнении сборочных и сварочных работ над резервуаром целесообразно устраивать общее светопрозрачное пленочное покрытие. В этом случае условия работы лучше, чем под открытым небом, и облегчается сварка в среде защитного газа. За рубежом при сооружении резервуаров больших размеров монтаж осуществляют методом укрупнительной сборки лепестков заводского изготовления в блоки на монтажной площадке и их автоматической сварки под слоем флюса или в среде защитного газа. В проектное положение блоки монтируют последовательным наращиванием, швы между блоками выполняют в основном ручной сваркой покрытыми электродами или автоматами для сварки во всех пространственных положениях проволокой диаметром 1—1,2 мм в смеси аргон—углекислый газ со свободным формированием шва. Очередность установки блоков при монтаже сферы определяется расположением опор. При раскрое типа *в* монтаж можно начинать с экваториального пояса. К укрупненным блокам лепестков этого пояса приваривают опорные стойки и, устанавливая их на фундамент, монтируют весь экваториальный пояс. Затем на временный постамент укладывают нижнее днище и монтируют блоки нижнего пояса. После установки временной стойки монтируют верхнее днище и верхний пояс.

При сооружении кожухов домен (толщина листов 40—60 мм) листы, прошедшие заготовительные операции, перед отправкой с завода попарно укрупняют сваркой под флюсом по длинной кромке. При этом в зависимости от мощности гибочного оборудования завода-изготовителя длинную кромку листа располагают вдоль образующей либо в окружном направлении. Расположение вдоль образующей является предпочтительным, так как в этом случае (рис. 28, *а*) все швы монтажного блока прямолинейны, однотипны и удобны для сборки и электрошлаковой сварки. При расположении длинной кромки листа в окружном направлении (рис. 28, *б*) сборке монтажного блока с выполнением вертикальных швов электрошлаковой сваркой предшествует укрупнение заводских элементов сваркой под флюсом на качающемся стенде.

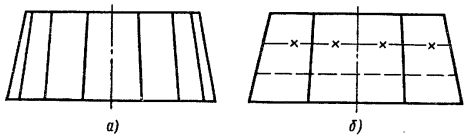


Рис. 28. Схема раскроя монтажного блока кожуха домны. Условные обозначения:

——— — электрошлаковая сварка на монтаже; сварка под флюсом: — — — на монтаже; — × — × — × — на заводе

Спиральные камеры крупных гидротурбин сложны в изготовлении из-за больших габаритов и высоких требований к точности при значительной толщине листовых элементов. Для наиболее напряженных звеньев спиральной камеры Красноярской ГЭС использовали высокопрочную сталь СК-2 ($\sigma_{0,2} \geqslant 50$ кгс/мм²), менее напряженные звенья изготовляли из сталей 10ХСНД и МСтЗ [10]. Разметку элементов осуществляли с помощью шаблонов, изготовленных по размерам, определенным на плазе. После газопламенной резки с одновременным скосом под сварку заготовки подвергали гибке на прессе с помощью универсального гибочного штампа. Для предотвращения изменения формы при сварке элементов в звенья устанавливали временные элементы жесткости. Подгонку звеньев друг к другу осуществляли при контрольной сборке.

Порядок монтажной сборки можно проследить на рис. 29. После установки и раскрепления статора турбины устанавливали секции *18* и *2*, а также отражательный лист *19*. Затем к каждой из этих секций последовательно подгоняли смежные прилегающие секции. Замыкающим элементом сборки являлась секция *12*, изготовленная с некоторым припуском для подгонки. Подтягивание сопрягаемых кромок производили с помощью болтовых стяжек и конусных оправок. Регулировку положения каждой секции и всей спиральной камеры по высоте осуществляли домкратами, а форму трубы исправляли растяжками. Для того чтобы меньше применять потолочную сварку, разделку швов в верхней части спирали делали с наружной стороны, а в нижней части — с внутренней. Боковые

части спирали имели Х-образную разделку. Сварку выполняли покрытыми электродами, причем для соединения монтажных элементов из высокопрочной стали применяли электроды аустенитного класса. В первую очередь в каждой

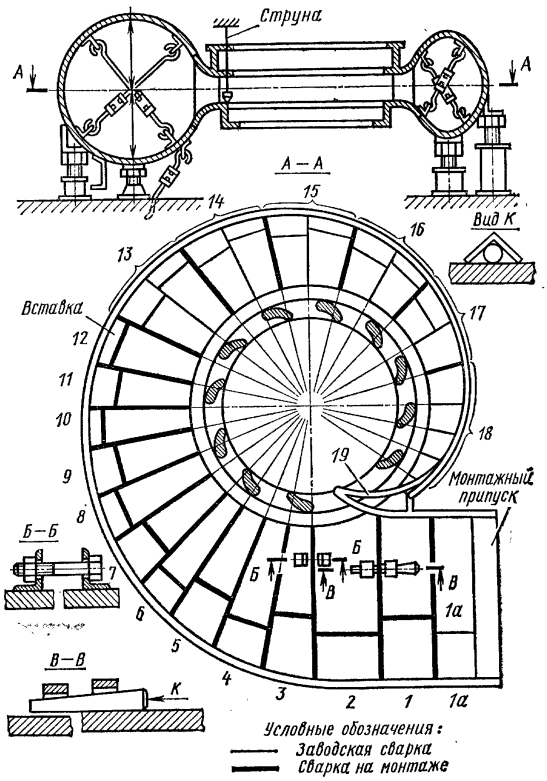


Рис. 29. Схема монтажа спиральной камеры гидротурбины
1—19 — монтажные элементы

секции заваривали продольные швы, затем приваривали звенья к статору, а после этого сваривали кольцевые стыки. Сварку продольных и кольцевых швов спирали выполняли способом последовательного обратноступенчатого исполнения швов или способом наварки слоев горкой.

СОСУДЫ, РАБОТАЮЩИЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Сосудам в большинстве случаев придают цилиндрическую форму, реже форму сферы или тора. Продольные, кольцевые и круговые швы, как правило, выполняют встык. Применительно к технологии изготовления можно выделить следующие четыре группы сосудов: тонкостенные, со стенкой средней толщины, толстостенные и многослойные.

Продольные прямолинейные стыки тонкостенных обечаек собирают в зажимных приспособлениях клавишного типа. Плотное прижатие кромок к подкладке обеспечивает качественное выполнение односторонней сварки в этом же приспособлении без прихватки.

При выполнении кольцевых стыков тонкостенных сосудов из материалов, малочувствительных к концентрации напряжений, используют остающиеся подкладные кольца. Подкладные кольца облегчают центровку кромок и их одностороннюю сварку, однако для некоторых высокопрочных материалов они оказываются неприемлемыми. В этом случае кольцевые стыки обычно собирают и сваривают на съемных подкладках разжимных колец. Возможна также сборка с охватом зоны кольцевого стыка жестким бандажом снаружи при расположении сварочной головки внутри обечайки.

Элементы арматуры (фланцы, штуцеры) обычно вваривают в стенки сосудов встык. Для материалов, малочувствительных к концентрации напряжений, иногда допускают приварку таких элементов угловыми швами или рельефной сваркой.

В крупносерийном производстве тонкостенных сосудов (тормозные резервуары, пропановые баллоны) для выполнения сборочно-сварочных операций нашли применение специальные полуавтоматические установки.

Сосуды со стенками из листов средней толщины (до 40 мм) из низкоуглеродистых и низколегированных сталей изготовляют преимущественно с помощью автоматической сварки под флюсом. Сосуды, работающие в агрессивных средах, изготовляют из хромоникелевых и хромистых сталей, цветных металлов и их сплавов автоматической сваркой под флюсом и по слою флюса полуоткрытой дугой (алюминиевые сплавы), а также аргонодуговой сваркой. Для экономии дорогостоящих и дефицитных материалов применяют двухслойные листы. При выполнении сварных соединений таких листов несмешиваемость обоих материалов обеспечивают использованием для каждого из слоев различных присадочных материалов и приемов сварки.

Цилиндрические сосуды обычно собирают из нескольких обечаек и двух полусферических или эллиптических днищ. Обечайки вальцуют из одиночного листа или из сварной карты при расположении швов вдоль образующей. Днища либо сваривают из отдельных штампованных лепестков, либо штампуют целиком из листа или из сварной заготовки. Продольный стык обечайки собирают на прихватках с помощью стяжных приспособлений. Для сборки кольцевых стыков между обечайками используют специальные устройства. Продольные и кольцевые швы сосудов со средней толщиной стенки выполняют, как правило, с двух сторон. При этом первым укладывают шов изнутри обечайки на флюсовой подушке, а вторым — шов снаружи по ранее уложенному первому с полным проплавлением всей толщины стенки. При толщине стенки сосуда более 25 мм сварку под флюсом нередко выполняют в несколько слоев. При сборке обечаек с днищами целесообразно использовать центрирующие устройства. Сварку этих кольцевых стыков выполняют так же, как и стыков между обечайками.

При серийном производстве сосудов используют поточные методы производства. Примером может служить изготовление котлов железнодорожных цистерн на Ждановском заводе тяжелого машиностроения [9]. Цилиндрическую часть котла составляют из нескольких листов длиной 9280 мм. На сборочном стенде листы собирают встык на прихватках с постановкой входных и заходных планок. Собранное полотнище приподнимают системой роликов, передают на стенд для сварки, собранными стыками укладывают на флюсовые подушки и сварку всех швов полотнища выполняют одновременно. Затем полотнище передают в канто-

ватель, переворачивают и на второй сварочной установке также одновременно сваривают все стыки с другой стороны. Далее полотнище рольгангом подают в 10-метровые гибочные вальцы, где его вальцуют вдоль швов в обечайку. После сборки и двусторонней сварки продольного стыка обечайку подвергают калибровке в гибочных вальцах, затем устанавливают на роликовый конвейер, связывающий несколько рабочих мест, где вырезают отверстия для горловины и сливного прибора, собирают обечайку с днищами и т. д.

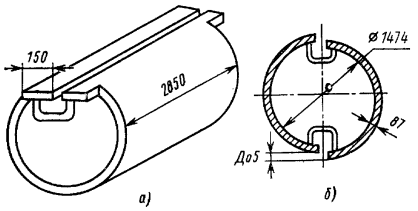


Рис. 30. Схемы сборки толстостенных обечаек

При изготовлении толстостенных сосудов (толщиной св. 60 мм) широко используют электрошлаковую сварку, обеспечивающую надежное проплавление всего сечения за один проход. Продольные швы толстостенных обечаек, как правило, выполняют электрошлаковой сваркой. В зависимости от размеров сосуда и имеющегося в наличии гибочного оборудования листовую заготовку гнут в нагретом состоянии вдоль длинной или вдоль короткой кромки листа. В первом случае уменьшается число более трудоемких кольцевых швов в сосуде, а во втором — менее трудоемких продольных. Схемы сборки обечаек с одним и двумя продольными стыками приведены на рис. 30, *а* и *б* соответственно. Зазор фиксируется приваркой скоб. Если обечайку после выполнения продольных швов необходимо править, ее нагревают до 1000—1050° С, а охлаждение на воздухе при калибровке используют одновременно для нормализации.

Кольцевые швы выполняют многослойными сваркой под флюсом или электрошлаковой сваркой в один проход. Полное проплавление при многослойной сварке обеспечивают укладкой в разделку нескольких подварочных слоев с внешней стороны (рис. 31), зачисткой корня шва с помощью пневматического зубила или резака и наложением внутреннего подварочного шва. После этого производят многослойное заполнение места внешней разделки.

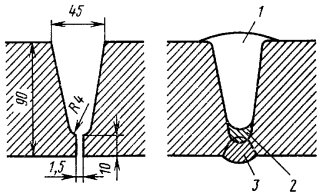


Рис. 31. Схема выполнения кольцевого стыка обечаек многослойным швом:

1 — основной наружной многослойной автоматической сваркой; *2* — наружной ручной подваркой; *3* — внутренней ручной подваркой

Сборка кольцевого стыка под электрошлаковую сварку должна быть достаточно точной, так как местная депланация криволинейных кромок стыка свыше 3 мм может привести к нарушению уплотнения и вытеканию шлаковой ванны. Поэтому сборке предшествует обработка внешней и внутренней поверхности обечаек на участке шириной 70—100 мм от торца. Сбирают стык с помощью планок, которые устанавливаются на ребро поперек кольцевого стыка и привариваются к поверхности обечаек. Иногда скобы временного крепления дополнительно устанавливают внутри обечаек. При электрошлаковой сварке кольцевых стыков особое внимание уделяют заварке замка. Усадочную раковину либо выводят в специальный прилив в наружном ползуне или в медный кокиль, либо выплавляют и заваривают вручную. При выполнении продольных и кольцевых швов толстостенных сосудов начинают использовать способ вертикальной газоэлектрической

сварки в щелевую разделку. По сравнению с многослойной дуговой сваркой применение этого способа обеспечивает значительное уменьшение количества наплавленного металла, а по сравнению с электрошлаковой сваркой — более благоприятный термический цикл околошовной зоны. Экспериментально показано [17], что при использовании оригинального приема сварки горизонтальным лучом можно осуществлять электронно-лучевую сварку продольных и кольцевых стыков металла толщиной 250 мм и более при скорости сварки 2,5—5 м/ч. Однако для производственного применения этого перспективного метода еще требуются отработка некоторых технологических вопросов, а также создание вакуумных камер большого размера.

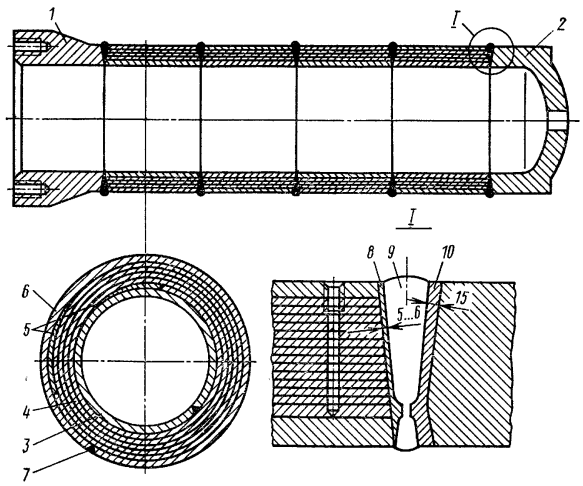


Рис. 32. Конструкция многослойного сосуда высокого давления:

1 — фланец; *2* — днище; *3* — центральная обечайка; *4* — спиральные слои; *5* — клиновидные вставки; *6* — кожух; *7* — продольный шов; *8, 10* — металл, наплавленный на кромку; *9* — многослойный шов

При изготовлении барабанов котлов, сосудов высокого давления и реакторов большое значение имеет термическая обработка. Для сосудов из углеродистых и низколегированных сталей термическая обработка обязательна, если толщина стенок свыше 36 мм. Окончательная термическая обработка полностью сваренного сосуда ограничивается высоким отпуском, однако иногда требуется нормализация для улучшения структуры зоны шва. Для предотвращения деформаций от собственной массы, искажающих форму сосуда, при нагреве его до 900—1000° С в нем создают избыточное внутреннее давление углекислого газа 2—3 кгс/см². При этом предотвращается образование окалины на внутренней поверхности сосуда. Для термической обработки используют печи большого размера. Если сосуд не может быть подвергнут термической обработке из-за отсутствия печи требуемого размера или из-за необходимости выполнения монтажных стыков, то применяют местную или общую термическую обработку с использованием индукционных нагревателей,

Для предотвращения опасности хрупкого разрушения и уменьшения технологических трудностей при изготовлении весьма толстостенных сосудов (200—400 мм) наиболее целесообразно изготовлять их многослойными — навивкой на основную обечайку толщиной 20—40 мм требуемого числа слоев рулонной стали толщиной 4—8 мм (рис. 32). В зависимости от рабочей среды центральная обечайка может быть двухслойной или из коррозионно-стойкой стали, а слои наружной части корпуса — из низколегированной стали.

Линия для изготовления многослойных рулонированных обечаек диаметром до 5 м на Уралхиммаше состоит из разматывателя рулона, подающих вальцев правильной машины, машины для обрезки и сварки концов полосы, отклоняющих валков и машины для намотки обечаек. После закрепления конца навитой полосы и сварки облицовочной обечайки торцы многослойной обечайки протачивают и подвергают наплавке слоем толщиной не менее 10 мм, который механически обрабатывают для получения требуемой формы разделки кромок. Кольцевые швы между обечайками, а также между обечайкой и днищем или фланцем выполняют многослойными. Кромки монолитных днищ и фланцев также иногда подвергают предварительной наплавке с целью исключения необходимости термической обработки после выполнения кольцевых швов. Сварочные напряжения в этих швах в значительной степени снимаются при обязательном приемочном испытании готового сосуда в результате нагружения внутренним давлением, превышающим рабочее.

СВАРНЫЕ ТРУБЫ

Трубы для магистральных трубопроводов выполняют дуговой сваркой под флюсом; шов располагают либо по образующей, либо по спирали. Из-за ограниченной ширины листов прямошовные трубы диаметром до 820 мм сваривают одним продольным швом, а при диаметре более 820 мм — двумя. Листы проходят обработку кромки и формовку. Листоукладчик по одному подает листы на рольганг,

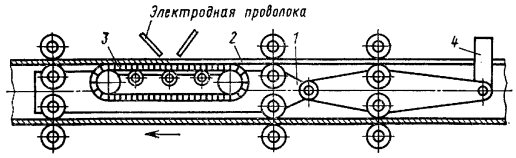


Рис. 33. Схема выполнения наружного шва трубы на стане проходного типа

направляющий их на строгальный станок. Одновременная обработка обеих кромок листа до проектного размера со снятием фасок происходит при движении листа через станок. Формовку выполняют либо в формовочном стане, либо в поточной линии на трех рабочих местах, где сначала в валковом стане осуществляют подгибку кромок, а затем осуществляют предварительную гибочную и окончательную формовочную операции на двух прессах.

На Челябинском трубопрокатном заводе сварку прямошовных труб выполняют с двух сторон, причем наружный шов укладывают первым на стане проходного типа (рис. 33). При подаче в стан трубная заготовка надвигается на оправку *1*, подвешенную к направляющему ножу *4* и опирающуюся роликами на внутреннюю поверхность трубы *2*. Движение трубы через стан со сварочной скоростью обеспечивается приводными горизонтальными валками стана, причем зазор между кромками по мере продвижения заготовки постепенно устраняется за счет бокового давления вертикальных неприводных валков; в зоне сварки

зазор отсутствует. Вытекание сварочной ванны предотвращается установленным на раме оправки *1* гусеничным башмаком *3*. Сварка под флюсом производится двумя дугами, горящими в одной сварочной ванне, что обеспечивает хорошее формирование шва при скорости сварки 170—190 м/ч для стенок толщиной 7 мм и 115—135 м/ч для стенок толщиной 12 мм.

Трубы с двумя продольными швами собирают из двух предварительно отформованных корыт, подаваемых укладчиком на две параллельные нитки входных рольгангов сборочного устройства. Выравнивающим приспособлением кромки заготовок устанавливают в одной горизонтальной плоскости, и в таком положении корыта рольгангами подаются в раскрытое сборочное устройство (рис. 34, *а*). Штоки *1* пневмоцилиндров (рис. 34, *б*), поворачивая рычаги *2*, устанавливают заготовки в исходное для подачи в сварочный стан положение, образуя цилиндрическую трубу с вертикальным разъемом, задаваемым деталями *3* и *4*. Собранная труба подается в сварочный стан упором цепного заталкивателя. При этом направляющий нож непрерывного стана для выполнения первого наружного шва

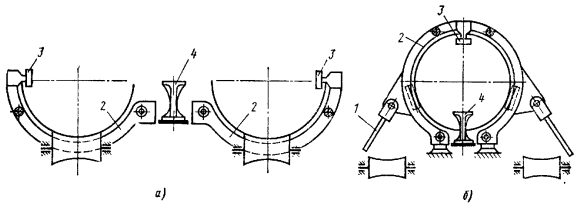


Рис. 34. Устройство для сборки трубы из двух корыт

попадает в зазор между верхними кромками корыт, направляя стык под сварочную головку. Сваренная первым наружным швом заготовка поворачивается разъемом вверх и по рольгангу поступает на стан для сварки второго наружного шва. Последовательно один за другим выполняют и оба внутренних шва. Приемы их выполнения такие же, как и для труб с одним швом. Для обеспечения требуемой формы поперечного сечения и допуска на диаметр трубы с прямым швом подвергают правке. Трубу заключают в толстостенную матрицу и уплотняют конусными заглушками по концам. Внутренним гидравлическим давлением создается раздача трубы до 1,0—1,2%, чем достигается правка трубы по всей длине и калибровка по диаметру.

Технология изготовления прямошовных труб диаметром 1220—1620 мм на Харцызском трубном заводе отличается от изложенной выше как порядком выполнения швов, так и приемами калибровки труб. Сборка трубы из двух полуцилиндрических заготовок завершается наложением технологического шва либо в среде CO_2 одновременно шестью головками, либо сваркой ТВЧ. Под флюсом сначала выполняют внутренние швы, а затем наружные. Для автоматического направления электродов по стыку используют риски, нанесенные параллельно кромкам при их строгании. Калибровку труб осуществляют гидромеханическим экспандером путем последовательной раздачи по всей длине. Для этого трубу шагами надвигают на калибровочную головку экспандера. При неподвижной трубе шток силового цилиндра перемещает центральный граненый клин и раздвигает рабочие сегменты, обеспечивая раздачу участка трубы до заданного диаметра.

На трубных заводах фирмы Маннесман (ФРГ) используют листы большой ширины, что позволяет выпускать трубы диаметром 1420 мм с одним продольным швом.

Сборка и сварка труб из рулонной стали спиральным швом позволяет получать трубы любого диаметра независимо от ширины полосы. При использовании такого метода процесс изготовления осуществляется непрерывно, обеспечивая требуемую точность размера и формы труб без последующей калибровки. Схема стана [8] приведена на рис. 35. Полоса из рулона накапливается в компенсационной петле, обеспечивая непрерывность выполнения спирального шва при обрезке концов полос гильотинными ножницами, а также сборке и сварке их стыка. Спиральный шов выполняют сваркой под флюсом тремя сварочными головками. Две из них крепятся на общей штанге, вводимой внутрь трубы, третья головка расположена снаружи. Первый внутренний шов, приваривающий кромку полосы к сформованной трубе, имеет малое сечение и является технологическим. Его назначение — устранить возможность взаимного перемещения кромок и предотвратить вытекание сварочной ванны при выполнении наружного рабочего шва. Такая технология позволяет гарантировать отсутствие кристаллизационных трещин при сварке низколегированных сталей на скоростях до 110 м/ч. По сравнению с изложенным выше процесс изготовления спиральношовных труб диаметром 530—1420 мм на станах Волжского трубного завода является более совершенным. Фрезерование продольных кромок после обрезки их на дисковых ножницах,

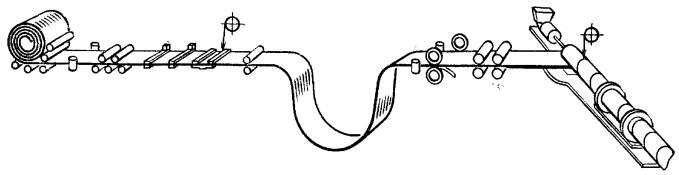


Рис. 35. Схема стана для изготовления труб из ленты спиральным швом

более совершенное формующее устройство по принципу трехвалковых гибочных вальцев в виде обойм роликов и автоматическое поддержание требуемого зазора между кромкой полосы и кромкой сформованной трубы обеспечивают сборку и сварку стыка практически без смещения кромок. В процессе выполнения спирального шва осуществляется непрерывный контроль ультразвуком с автоматической маркировкой мест обнаруженных дефектов. Летучая установка, обеспечивающая механизацию обрезки, сборки и сварки концов полос, позволила обойтись без компенсационной петли. Схема такого агрегата, объединяющего гильотинные ножницы *I*, сварочную установку *II* с калибровочными ножницами и суппорт *III*, показана на рис. 36, *а* и *б*. Концы полос *1* и *2* последовательно обрезаются ножницами *I* и закрепляются прижимами калибровочных ножниц *II* (рис. 36, *а*). После выполнения калибровочного реза обоих концов сразу, передвижением суппорта до упора (рис. 36, *б*), задний конец полосы *1* устанавливается по оси канавки подкладки сварочной установки. Перемещением до упора гильотинных ножниц передний конец полосы *2* подается в сварочную установку с обеспечением требуемого зазора в стыке, концы полос зажимаются и производится сварка. При выполнении этих операций агрегат движется вместе с полосой *1*, а затем отпускает ее и возвращается в исходное положение.

При увеличении диаметра магистральных трубопроводов требуется одновременное увеличение толщины стенки. Так как толщина полос рулонной стали не превышает 14 мм, то при диаметре 1420 мм и более трубы со спиральным швом приходится изготовлять из листовой стали. Непрерывный процесс изготовления спиральношовных труб диаметром до 2500 мм из отдельных листов осуществляется в специальном стане Волжского трубного завода. В этом стане листы предварительно попарно собирают и сваривают встык на неподвижной установке, а затем рольгангом подают в «летучую» установку, где укрупненная карта пристыковывается к концу непрерывной полосы, подаваемой в формовочно-сварочное устройство.

При изготовлении сварных труб малых и средних диаметров используют непрерывные процессы. Из рулона лента разматывается, наращивается, формуется и, проходя сварочный узел, сваривается тем или иным способом. Наиболее

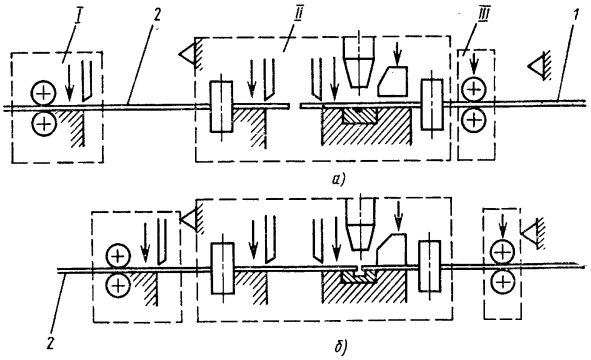


Рис. 36. Схема «летучей» установки для сборки и сварки концов рулонов

часто применяют сварку печную, ТВЧ. Для изготовления водогазопроводных труб диаметром 6—114 мм из низкоуглеродистой стали особенно эффективно использование печной сварки. Заготовкой служит горячекатаный штрипс в рулонах, схема непрерывного процесса сварки показана на рис. 37. По выходе штрипса из нагревательной печи его кромки *1* обдуваются воздухом из сопл *2* для удаления окалины и повышения температуры. В первой паре роликов *3* штрипс формуется, а во второй паре роликов *4* сваривается, причем вторичный обдув кромок из сопла *5* обеспечивает повышение температуры до 1500—1520° С. Скорость сварки достигает 300 м/мин. Производительность процесса может быть значительно повышена, если в состав агрегата печной сварки входит редукционный стан, работающий с натяжением. В этом случае скорость выхода труб из стана можно повысить до 420—1200 м/мин.

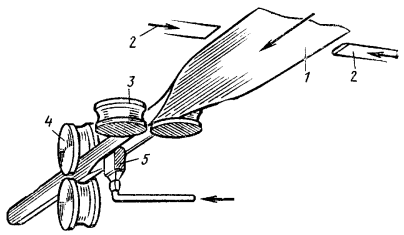


Рис. 37. Схема непрерывного процесса печной сварки водогазопроводных труб

В последние годы для изготовления труб диаметром от 8 до 529 мм и более с толщиной стенки 0,3—10 мм все шире используют сварку ТВЧ. По сравнению с контактной сваркой сопротивлением на токах промышленной частоты высокочастотная сварка обеспечивает значительно более высокие скорости (до 120 м/мин и более), возможность изготовления труб из сталей, цветных металлов и сплавов, использование горячекатаной нетравленой ленты, значительное уменьшение удельного расхода электроэнергии на 1 т готовых труб. Кроме того, при высокочастотной сварке одно и то же оборудование можно использовать для изготовления труб из разных материалов, изменяя только электрические и скоростные параметры процесса.

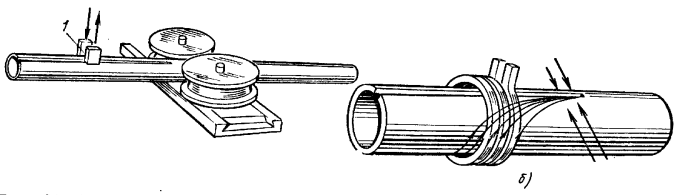


Рис. 38. Схемы высокочастотной сварки труб

При контактном подводе тока (рис. 38, *а*) необходимость смены контактов *1* вследствие их износа заставляет периодически останавливать стан. Поэтому все шире используют подвод энергии кольцевым индуктором (рис. 38, *б*). В этом случае для уменьшения потерь энергии в результате прохождения тока по заготовке в трубу вводят магнитный сердечник, который изменяет сопротивление так, что почти весь сварочный ток направляется по свариваемым кромкам [8].

Дуговую сварку в инертном газе вольфрамовым электродом применяют для изготовления труб с прямым швом диаметром 6—426 мм с толщиной стенки 0,2—5 мм и специальных труб со спиральным швом диаметром до 2000 мм и толщиной стенки до 10 мм. Материал труб может быть разный, однако скорость сварки невелика (до 1,5—2,0 м/мин).

ТРУБОПРОВОДЫ

Укладка трубопроводов может быть либо непрерывная, либо секционная. В СССР на строительстве магистральных трубопроводов применяют главным образом секционный способ укладки труб. Трубы длиной 12 м, поступающие на полевые сварочные базы, соединяют в секции, транспортируют на трассу и наращивают в нитку.

При сборке и сварке секций на полевых базах используют механизированные линии (рис. 39). Трубы с накопителя *1* поочередно манипулятором укладывают на рольганг *3*. Сборку выполняют с помощью гидравлического внутреннего центратора *2*, закрепленного штангой и используемого в качестве вращателя. Первая труба рольгангом *3* надвигается на центратор и фиксируется первым рядом жимков центратора. Вторая труба подается рольгангом до соприкосновения с первой и фиксируется разжатием второго ряда жимков. Используя центратор как вращатель, два сварщика одновременно выполняют корневой шов полуавтоматами в среде углекислого газа или ручной дуговой сваркой. После сварки первого слоя двухтрубная секция отводится рольгангом вперед, на ее место на центратор надвигается третья труба, и цикл сборки и сварки первого слоя повторяется. Собранная трехтрубная секция перегружателем передается на промежуточный стеллаж *4*, затем на второй стенд *6*, где стыки окончательно сваривают автоматами под флюсом с помощью торцового вращателя *5*.

Увеличение диаметра труб до 1420 мм и толщины стенки до 17 мм потребовало замены односторонней сварки поворотных стыков двусторонней. Такой процесс осуществляют на механизированных линиях типа БТС. Торцы труб подвергают механической обработке с одновременным нанесением риски на внутреннюю поверхность для автоматического направления внутренней сварочной головки по

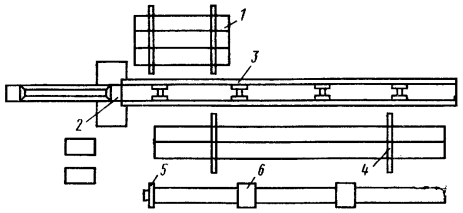


Рис. 39. Схема механизированной линии для сварки поворотных стыков труб

стыку. Сборку выполняют с помощью центратора, вращение обеспечивается поперечными роликами стенда. Сначала выполняют первый наружный шов, затем одновременно второй наружный и внутренний швы.

Выполнение неповоротных стыков магистральных трубопроводов большого диаметра продолжает оставаться весьма трудоемким. Использование трубоукладчиков и внутренних гидравлических центраторов обеспечивает механизацию процесса сборки, однако сварку по-прежнему выполняют вручную поточно-расчлененным методом. Одновременно работают звено сборщиков и несколько звеньев

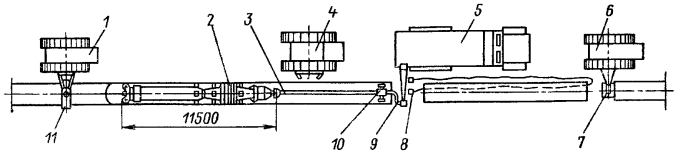


Рис. 40. Схема сборки и сварки магистрального трубопровода с помощью внутритрубной машины:

1 — трактор с подъемной стрелой; *2* — внутритрубная сварочная машина; *3* — штанга; *4* — трубоукладчик; *5* — передвижная электростанция; *6* — трактор с подъемником; *7* — подвесная машина для зачистки внутренних поверхностей труб под контакты; *8* — кабель-удлинитель; *9* — кабель; *10* — штепсельный разъем; *11* — наружный грато-снимать и индуктор для термической обработки стыков

сварщиков. Впереди движется звено сборщиков, собирая стыки с помощью внутреннего центратора. За ними от стыка к стыку каждое звено сварщиков выполняет свой слой шва, а каждый сварщик — определенный участок этого слоя.

В ИЭС им. Е. О. Патона создана внутритрубная машина для сборки и сварки магистральных трубопроводов диаметром 720—1420 мм [12]. Внутритрубный центратор с двумя распорными патронами обеспечивает передачу усилия осадки при сварке. С помощью внутреннего кольцевого сварочного трансформатора осуществляется процесс контактной сварки оплавлением автоматически по заданной программе. Схема сборки и сварки магистрального трубопровода с использованием внутритрубной машины приведена на рис. 40. Производительность агрегата

составляет шесть стыков в час. Широкое использование таких машин, по-видимому, позволит обеспечить комплексную механизацию всего цикла сборочно-сварочных работ при укладке магистральных трубопроводов большого диаметра.

При укладке трубопроводов диаметром 114—529 мм используют оборудование для контактной сварки стыков труб с внешним кольцевым трансформатором (установки ТКУС и ТКУП). Стационарная установка ТКУС имеет неразъемную сборочно-сварочную головку. Передвижная установка ТКУП, используемая для сварки стыков на трассе, имеет разъемную сварочную головку, подвешиваемую на стреле специального трактора.

Огромное число стыков труб приходится выполнять при сооружении заводов нефтяного, химического, металлургического и атомного машиностроения. Сборку и сварку большинства этих стыков выполняют в трубозаготовительных цехах, а на монтаже сваривают только стыки, соединяющие готовые секции или узлы. В крупных трубозаготовительных цехах при выпуске больших партий узлов одинаковых размеров используют специализированные установки дуговой автоматической сварки, а также применяют контактную сварку встык. Неповоротные монтажные стыки заводских трубопроводов сваривают вручную или специальными автоматами в среде защитных газов. Использование автоматических головок, обегающих стык, особенно необходимо в труднодоступных местах.

КОРПУСНЫЕ ЛИСТОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Представителями конструкций этого типа являются кузова цельнометаллических вагонов, корпуса судов и автомобилей. Общим для них является использование плоских и криволинейных листовых элементов с последующим объединением их в жесткую пространственную конструкцию, способную воспринимать разнообразные нагрузки.

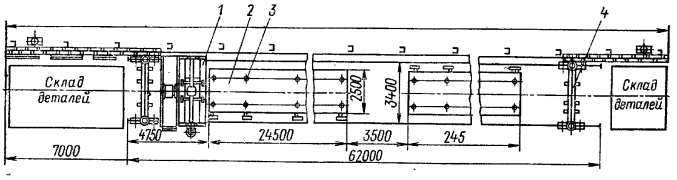


Рис. 41. Стенд для сборки и сварки плоских узлов вагона

При изготовлении кузовов пассажирских вагонов преимущественно используют контактную сварку — шовную и точечную. Общей сборке предшествуют сборка и сварка крупногабаритных узлов: крыши, боковых стен, настила пола, концевых и тамбурных стен. Плоские узлы вагона обычно изготовляют из тонких стальных листов толщиной 2—4 мм и гнутых профилей зетобразного, уголкового и омегообразного сечений. Сборку и сварку их осуществляют на специальных стендах (рис. 41). Обшивку укладывают по фиксаторам на один из стендов *2*, обслуживаемых соответствующей портальной сборочной скобой-кассетой *4*. Скобу по рельсовому пути передвигают над стендом из одного фиксированного положения в другое, задавая расположение элементов жесткости и обеспечивая их прижатие к обшивке с созданием предварительного прогиба под сварку перед постановкой прихваток. Сварку обшивки с элементами жесткости выполняют с помощью портальной трехэлектродной контактной машины *1* с двусторонним подводом тока. Для этого собранный узел приподнимают над поверхностью стенда подъемными опорами *3*, которые затем попарно опускаются, пропуская сварочную

машину. По мере продвижения машины вдоль стенда попарно выполняют точки, приваривающие продольные элементы жесткости. Приварку элементов другого направления осуществляют поперечным перемещением сварочных головок. Сварочная машина *1* обслуживает оба стенда *2*. При работе ее на одном из них на другом собирают следующий элемент с помощью другой скобы-кассеты.

Крыша вагона представляет собой корытообразную конструкцию с элементами жесткости зетового сечения. Сборку и сварку крыши производят целиком или из отдельных секций. Схема поточной линии для изготовления секций крыши электровагона показана на рис. 42. Полотнище обшивки секции собирают на столе *3* стенда, где по фиксаторам укладывают средний лист *2* и два листа *1* округлений. Нахлесточное соединение листов сваривают дуговой сваркой, для прижатия листов и направления сварочной головки вдоль шва используют самоходный портал *4*. Сборку секций выполняют в стапеле *5*. Дуги крыши укладывают на медные шины дуг стапеля, сверху накладывают полотнище обшивки, приварку ее выполняют специальной контактной машиной *6* портального типа.

При постройке судов общей сборке корпуса на стапеле предшествуют сборка и сварка элементов, секций и блоков. Большинство сборочных элементов состоит

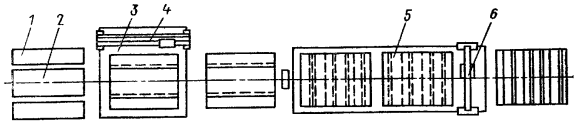


Рис. 42. Схема поточной линии для изготовления секций крыши электровагона

из листовых деталей, балок и рам. При сборке и сварке листовых полотнищ используют специальные стенды. При изготовлении плоскостных секций применяют способ раздельной сборки и сварки набора. На полотнище первым устанавливают набор главного направления и приваривают его угловыми швами автоматической сваркой. Затем устанавливают набор другого направления, приваривают его к полотнищу и в последнюю очередь сваривают элементы набора друг с другом.

Для сборки секций с погибью используют постели, образуемые набором лекал, закрепленных на жестком основании и воспроизводящих обводы изготовляемой секции. Постели применяют специализированные — для секции одного типоразмера и универсальные, переналаживаемые.

Наиболее перспективным методом общей сборки корпуса судна является блочный, когда сборку на стапеле осуществляют из крупных блоков, представляющих собой часть корпуса от киля до палубы. Схема организации работ при использовании такого метода показана на рис. 43. Корпус каждого блока формируют на предстапельном участке из секций, подаваемых из сборочно-сварочного цеха. Днищевые секции устанавливают на поперечные балки. При этом средняя часть с колеей для транспортных тележек грузоподъемностью 500 т и монтажных тележек грузоподъемностью 100 т остается свободной. Центровку и стыковку днищевых секций производят с помощью монтажных тележек. По окончании формирования блоков производят испытания отсеков на непроницаемость. С горизонтальной предстапельной площадки готовые блоки с помощью двух 500-тонных транспортных тележек перемещают на трансбордер, который передвигается по трансбордерной горке. После совмещения рельсовых путей трансбордера и наклонного стапеля блок на транспортных тележках спускают по наклонному стапелю до места установки. Под концы судоводных балок блока подводят центрирующие устройства, расположенные на спусковых дорожках стапеля, блок снимают с транспортных тележек и возвращают их на предстапельную площадку для перевозки очередного блока. Так как монтажные стыки между блоками имеют

большую протяженность, то для равномерного поперечного укорочения по периметру их выполняют одновременно несколько сварщиков.

При изготовлении крупнотоннажных судов сборку и сварку корпусов иногда выполняют на плаву. После спуска двух частей на воду точную их стыковку обеспечивают балластировкой. Затем под корпус подводят специальный кессон, повторяющий обводы судна в зоне стыка и имеющий уплотнения. Из пространства, ограниченного кессоном и корпусом, откачивают воду и после удаления влаги и очистки кромок производят сварку стыка с последующей его окраской. При производстве судовых корпусных конструкций сварочные деформации часто оказываются выше допустимых; их устраняют главным образом правкой с помощью местного нагрева.

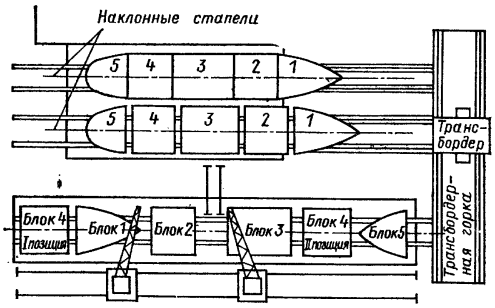


Рис. 43. Схема блочного метода сборки корпуса судна

Кузова автомобилей собирают и сваривают из заготовок, штампованных из листа. Такой метод обеспечивает требуемую точность размеров и формы заготовок под сварку внахлестку и по отбортовке, позволяя создавать технологичные детали малой массы при заданной жесткости. В условиях крупносерийного производства сборку и сварку кузовов легковых автомобилей выполняют в автоматических линиях, представляющих собой сложный комплекс транспортирующих устройств и многоточечных машин, работающих в едином цикле. На рис. 44 показано расположение линий сборки и сварки боковых стенок на ВАЗе. На стол *1* (рис. 45) многоточечной машины, расположенной в начале линии, штампованные заготовки укладывает рабочий; остальные операции выполняются автоматически. Сварочные пистолеты и клещи, закрепленные на кронштейнах *2*, подводятся к заготовкам гидроцилиндрами *3* и после сварки возвращаются в исходное положение. Гидроподъемник *4* приподнимает собранный узел до уровня расположения транспортного устройства, которое захватывает его и передает на следующие сварочные позиции линии. Сваренные боковины поступают в конце линии на механизмы перегрузки *1* (см. рис. 44), где они из горизонтального положения переводятся в вертикальное и подаются на напольный конвейер *2*, транспортирующий их к месту комплектации *4*. Рядом с напольным конвейером расположены накопители *3* для хранения готовых боковин. Подача с напольного конвейера в накопители и обратно происходит автоматически. К месту комплектации поступают правая и левая боковины, а также крыша. Комплектация их осуществляется с помощью опускной секции толкающего конвейера *2* (рис. 46) с подвеской *1*. Навешивание боковин на выступы *5* выполняют поворотом рычагов *3*. Крыша подается горизонтально и подхватывается крюками *4*. Скомпонованная таким образом «виноградная гроздь» подъемной секцией поднимается, захватывается выступом тяговой цепи толкающего конвейера и автоматически адресуется к месту

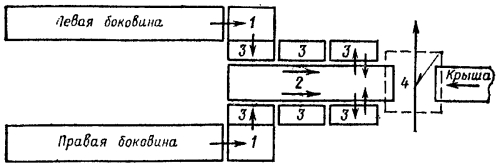


Рис. 44. Схема автоматической линии сборки и сварки боковых стенок кузовов автомобилей на ВАЗе

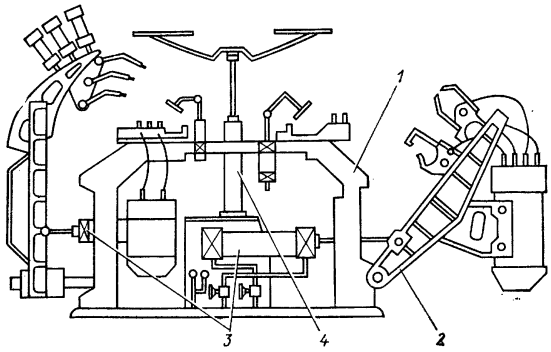


Рис. 45. Схема многоточечной машины

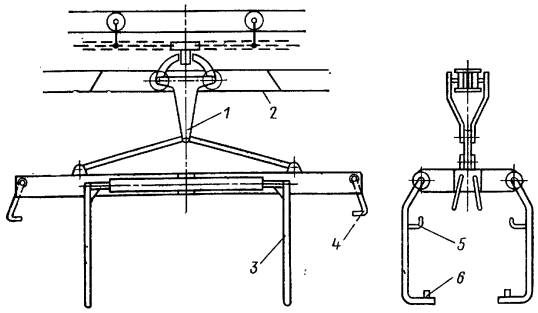


Рис. 46. Схема комплектации кузова в опускной секции толкающего подвесного конвейера

приема последнего узла компоновки-настила пола, располагаемого в подвеске на опорах *6*, а затем отправляется на склад.

Со склада подвески «виноградные грозди» системой автоматического адресования подаются к главному сборочному кондуктору (рис. 47) челночного типа, включающему многоточечную сварочную машину *4*, шесть подвесных сварочных

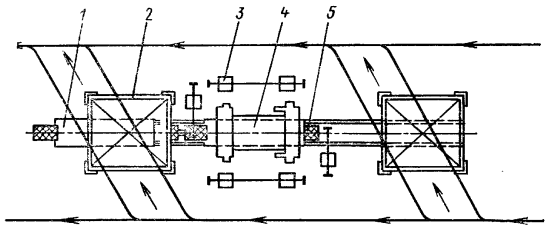


Рис. 47. Схема главного сборочного кондуктора

машин *3* и связанные между собой кондукторные тележки *1* и *5*. Подвеску с компоновкой узлов кузова опускной секцией *2* подают на приемную тележку *1*, узлы снимают, устанавливают в кондуктор тележки и фиксируют прижимами. Затем тележку подают в многоточечную машину *4*. Ее электроды сваривают узлы снизу, остальные сварные точки выполняют подвесными машинами *3*. В это время вторая тележка находится на другой позиции, где ранее собранный кузов захватывается рычагами подвески, опускная секция толкающего конвейера поднимает его, и подвеска с кузовом отправляется на линию окончательной сварки.

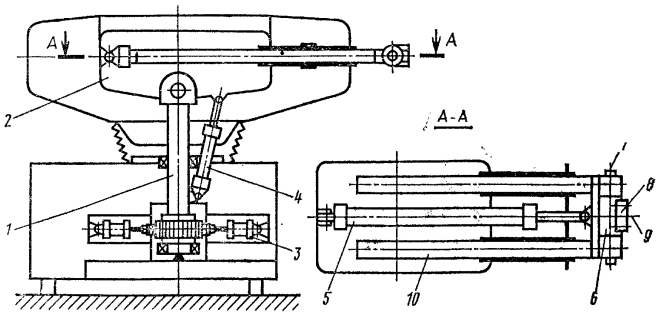


Рис. 48. Схема промышленного робота типа «Юнимейт»

При изготовлении кузовов автомобиля за рубежом используют промышленные роботы, представляющие собой манипулятор, управляемый с помощью ЭВМ. Наибольшее распространение получили роботы типа «Юнимейт» (рис. 48). Вал *1* обеспечивает вращение поперечины *2* вокруг вертикальной оси с помощью гидроцилиндра *3* и пары рейка—зубчатое колесо. Поворот поперечины вокруг горизонтальной оси осуществляется гидроцилиндром *4*, закрепленным на валу *1*. Поступательное перемещение руки задается гидроцилиндром *5*. Вращение кисти

руки *6* вокруг оси *7* и площадки *8* для крепления инструмента вокруг оси *9* обеспечивается системой зубчатых колес и гидроцилиндров, расположенных в корпусе кисти руки *6* и в цилиндрических штоках *10*. Применительно к изготовлению кузовов легковых автомобилей роботы этого типа нашли применение главным образом в качестве носителя сварочных клещей. Работе предшествует «обучение» робота. Для этого опытный рабочий на первом узле, поданном конвейером, последовательно перемещает инструмент от одной сварочной точки к другой, вводя эту программу в запоминающее устройство нажатием кнопок «Память» и «Сварка». Выполнение программы начинается после того, как узел, подлежащий сварке, займет на конвейере фиксированное исходное положение и сигнал об этом поступит в запоминающее устройство. Каждая степень свободы перемещения задается своим гидроцилиндром с управляющим сервоклапаном, и каждый гидроцилиндр имеет детектор положения, дающий сигнал в запоминающее устройство. Достоинством робота является его универсальность, т. е. возможность быстрой смены программ, хранящихся в памяти машины, например, по команде системы автоматического адресования. Это позволяет использовать роботы на конвейере, подающем узлы кузовов автомобиля разных модификаций.

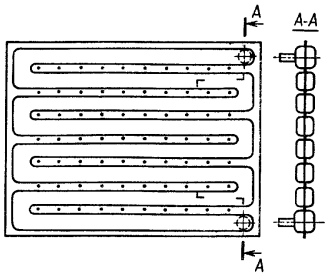


Рис. 49. Отопительный радиатор панельного типа

В условиях крупносерийного производства штампосварные изделия простой формы целесообразно изготовлять из рулонной полосы на непрерывно действующей автоматической линии. Например, на таких линиях выпускают отопительные радиаторы (рис. 49) панельного типа [13]. Заготовки с выштампованными в них каналами для циркуляции воды соединены по периметру шовной сваркой, а между каналами — точечной. При этом все операции выполняют на полосах с разрезкой их на отдельные элементы только на последней стадии изготовления. Это упрощает передачу заготовок с одного рабочего места на другое и обеспечивает непрерывность процесса, но требует выполнения формовки и сварочных операций на движущейся полосе.

Размотка двух рулонов выполняется в двухсекционном разматывателе одновременно, полосы располагаются в два яруса одна над другой (рис. 50). В формовочной машине две пары валков-роликов, имеющих жесткую кинематическую связь, одновременно производят формовку верхней и нижней полос с зеркальным отображением каналов и перемычек. Штуцера привариваются к верхней полосе «летучей» контактной сварочной установкой методом оплавления. Патрубок *1* (рис. 51) автоматически подается из питателя и с помощью верхнего *2* и нижнего *3* сварочных электродов прижимается к месту приварки. После окончания сварки через отверстие в нижнем электроде пуансон *4* прошивает отверстие *5* и развальцовывает лишний металл по стенкам патрубка. Летучая установка приваривает к верхней полосе одновременно оба патрубка панели радиатора. После приварки патрубков полосы совмещаются и устройством валкового типа подаются в неподвижную многоэлектродную машину для сварки точек между каналами. Два кинематически связанных четырехзвенника (рис. 52) обеспечивают плоскопараллельное перемещение траверс, несущих верхние и нижние электроды. В процессе сварки точек электроды перемещаются в результате сцепления с движущейся полосой при приложении сварочного давления. Быстрое возвратное движение электродов выполняет пневмоцилиндр *1*. В машине предусмотрены четыре одинаковых сварочных блока, имеющих верхние и нижние электроды. Одновременно работают два блока электродов, выполняя два ряда поперечных

точек. В это время два других блока электродов автоматически зачищаются. Продольные герметичные швы осуществляются неподвижной контактной шовной машиной с двумя парами сварочных роликов, вращающихся в результате контакта с непрерывно движущейся полосой. Поперечные швы выполняются контактной

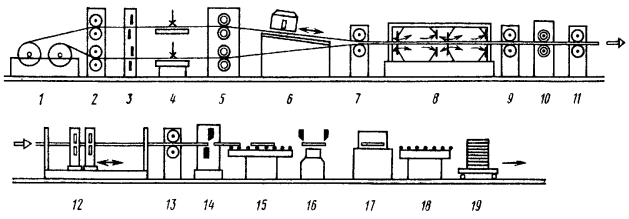


Рис. 50. Схема непрерывно действующей автоматической линии изготовления пластинчатых отопительных радиаторов:

1 — рулоны; *2* — подающие ролики; *3* — гильотинные ножницы; *4* — сварочные столы; *5* — формующие валики; *6* — приварка штуцеров; *7, 9, 11, 13* — тянущие ролики; *8* — сварка точечных продольных швов; *10* — сварка продольных швов; *12* — сварка поперечных швов; *14* — разрезка панелей; *15* — транспортер; *16* — обрезка кромок; *17* — гидропресс; *18* — транспортер; *19* — укладка изделия

шовной машиной с «летучими» каретками, несущими две пары сварочных роликов. Захватывая движущиеся полосы специальными прижимами, каретки перемещаются вместе с ними в продольном направлении и относительно их в поперечном направлении. Машина выполняет одновременно два поперечных шва, расположенных на расстоянии 22 мм друг от друга. Между этими швами «летучие» гильотинные ножницы на следующей позиции отделяют радиаторы друг от друга. После обрезки продольных кромок

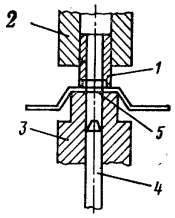


Рис. 51. Схема приварки штуцера к верхней полосе

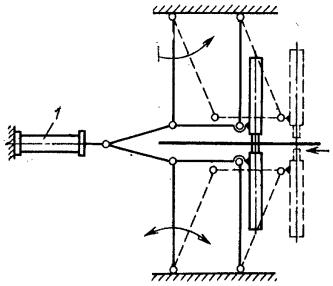


Рис. 52. Схема движения электродов точечной контактной машины

под размер готовые радиаторы подвергают гидроиспытанию, затем они поступают на окраску и сушку.

В линии имеется стенд для стыковки полос при замене рулонов. На время стыковки полос линию останавливают. Скорость движения полос в действующих автоматических линиях до 120 м/ч. Во избежание непредвиденных остановок некоторые установки имеют дублирующие узлы. Так, для приварки патрубков имеются две сварочные головки, Когда одна работает, другую ремонтируют или налаживают.

СВАРНЫЕ ДЕТАЛИ МАШИН

В тяжелом и энергетическом машиностроении крупные сварные детали сваривают в условиях единичного и мелкосерийного производства, используя заготовки из толстолистового проката, поковок или стальных отливок.

На рис. 53 показана рама клети прокатного стана, составленная из четырех литых заготовок из стали 35Л. Места стыков выбраны из условия симметрии сварочных деформаций и относительной простоты формы каждого элемента. Сложное очертание двутаврового сечения в месте стыка заменено сплошным (*А—А*) для удобства выполнения его электрошлаковой сваркой. Раму собирают в горизонтальном положении с помощью скоб, стыки сваривают попарно. При изготовлении станин из толстолистового проката широко используют электрошлаковую сварку. Угловые и тавровые соединения элементов собирают с помощью

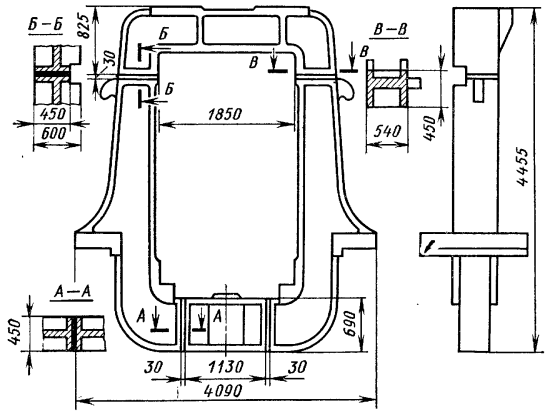


Рис. 53. Рама клети прокатного стана

косынок и диафрагм, стыковые — с помощью скоб. В местах, не доступных для постановки формующих медных охлаждаемых подкладок, применяют остающиеся стальные пластины. Последовательность выполнения сборочно-сварочных операций выбирают такой, чтобы концы каждого из электрошлаковых швов можно было вывести за пределы детали. Поэтому общей сборке сложной детали обычно предшествуют сборка и сварка относительно простых узлов. При этом для уменьшения угловых перемещений целесообразно, чтобы каждый собранный под сварку узел имел замкнутое сечение.

Конструкция валов гидравлических турбин проста — это массивная труба с одним или двумя фланцами. Заготовки обечаек обычно получают ковкой, заготовки фланцев — ковкой или литьем, стыки между ними выполняют однопроходной электрошлаковой сваркой. На сборку кольцевых стыков заготовки поступают после предварительной механической обработки. При сборке длинных валов необходимо предусмотреть некоторый излом оси в месте стыка для компенсации неравномерной поперечной усадки по периметру шва. Точность готового вала обеспечивается чистовой механической обработкой, производимой после нормализации и высокого отпуска.

Крупные валы паровых и газовых турбин изготовляют из жаропрочных сталей путем сварки отдельных поковок — дисков и концевых частей. Наличие внутренних замкнутых полостей, смещение которых относительно оси вращения вызывает недопустимую неуравновешенность вала, приводит к необходимости соблюдения жесткого допуска на искривление его продольной оси. Это достигается точной сборкой и прецизионной технологией сварки. Кованые заготовки дисков после механической обработки центрируют относительно друг друга направляющими поясками, требуемый зазор в разделке обеспечивается с помощью прокладок. Собранные элементы плотно стягивают тягами *1* (рис. 54) с компенсирующими усадку пружинами *2*; в вертикальном положении ротор подается на сварку. Для обеспечения равномерной поперечной усадки по периметру кольцевого шва сварку выполняют в несколько слоев. Каждый корневой шов выполняют одновременно двумя или тремя симметрично расположенными сварочными головками аргонодуговой сваркой вольфрамовым электродом. В этом положении несколько слоев укладывают плавящимся электродом в среде углекислого газа. После заполнения той части разделки, которая необходима для обеспечения определенной жесткости ротора, его переносят в центровой вращатель с горизонтальным положением оси и основную часть разделки заполняют путем многослойной сварки под флюсом в нижнем положении. Такая технология позволяет предотвратить искривление оси настолько, что биение сваренного вала не превышает 0,5 мм на длине 5 м.

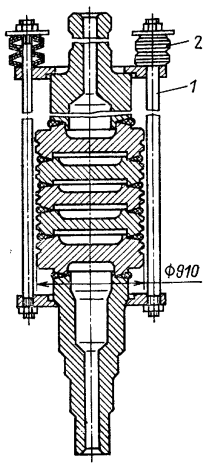


Рис. 54. Вал газовой турбины

Рабочие колеса мощных гидротурбин (рис. 55) имеют настолько большие размеры, что доставка на место монтажа целиком возможна только водным путем. Верхний обод турбины Красноярской ГЭС выполняли из двух литых заготовок из стали 20ГСЛ электрошлаковой сваркой с последующим высоким отпуском и механической обработкой. Лопасти из той же стали отливали в кокиль. Часть выпуклой поверхности лопасти, наиболее подверженной кавитационному износу, защищали наплавкой или облицовкой кавитационно-стойкой сталью. Нижний обод собирали из четырех штампованных заготовок из стали 22К, сваривали электрошлаковой сваркой и после высокого отпуска подвергали механической обработке. Сборку начинали с разметки внутренней поверхности верхнего обода по шагу и профилю и установки на ней лопастей с зазором под электрошлаковую сварку. В верхнем ободе закрепляли ось с цапфами и с ее помощью собранный узел устанавливали на стойках кантователя с целью поворота каждого стыка в положение, удобное для выполнения его электрошлаковой сваркой плавящимся мундштуком. Плавный переход от лопасти к верхнему ободу обеспечивали с помощью медных подкладок соответствующей формы, охлаждаемых водой. После сварки и промежуточного высокого отпуска торцы лопастей обрабатывали для сопряжения с нижним ободом на карусельном станке, а кромки подготавливали под К-образную разделку. Нижний обод с лопастями одновременно сваривали два—четыре сварщика полуавтоматами в среде углекислого газа. Сваренное колесо подвергали нормализации и высокому отпуску, после чего выполняли окончательную механическую обработку.

Колеса крупных гидротурбин можно изготовлять и по другой технологии. Рабочее колесо Плявиньской ГЭС выполняли в виде двух частей для перевозки его по железной дороге, причем заводскую сварку осуществляли преимущественно вручную покрытым электродом. На монтаже стыки верхнего обода собирали на болтах, а нижнего обода сваривали вручную способом «поперечной горки». Подогрев перед сваркой до 120—200° С и последующий высокий отпуск стыков обода выполняли с помощью индукторов.

В отличие от мелкосерийного производства тяжелых и энергетических машин для изделий общего машиностроения более характерно серийное и крупносерийное производство. Соответственно требования по технологичности конструктивного оформления и производительности используемого оборудования в последнем случае оказываются выше. Применительно к изготовлению сварных станин из литых заготовок большой интерес представляет новая технология сборки и сварки картера блока тепловозного дизеля, освоенная на Коломенском

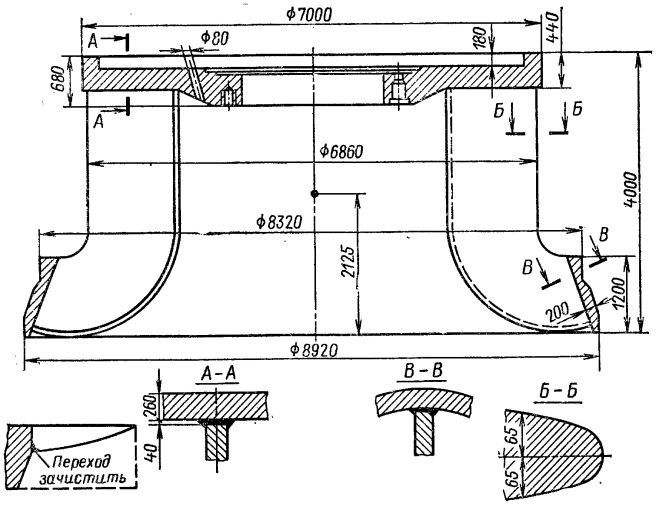


Рис. 55. Рабочее колесо турбины Красноярской ГЭС

тепловозостроительном заводе [4]. По этой технологии картеры восьми-, двенадцати-, шестнадцати- и двадцатицилиндровых V-образных дизелей собирают из унифицированных стоек (рис. 56), отлитых из стали 20Л. Стойки последовательно присоединяют одна к другой контактной сваркой непрерывным оплавлением, причем лапы *1* и *5*, боковые стенки *2* и *4* и верхнюю перемычку *3* сваривают одновременно (суммарное сечение 50 000 мм²). Специальный сборочно-сварочный комплекс К-579 обеспечивает механизацию операций приема стоек, подачу их в зону сварки, совмещения базовых поверхностей, перемещения после сварки на заданный шаг и выдачи сваренного изделия. Сварка выполняется автоматически с программным регулированием, обеспечивая точность по длине картера ±2,5 мм, расстояние между осями цилиндров ±1 мм, смещение стоек в поперечном направлении не более 2 мм и по пропеллерности основания стоек ±2 мм. Суммарный припуск на сварку одной стойки 40 мм. Однородность структуры сварных соединений и их механических свойств позволила отказаться от последующего высокого отпуска картера.

Кольцевые швы, соединяющие заготовки валов, осей и роликов, в условиях серийного производства выполняют дуговой, контактной стыковой и сваркой трением, причем область применения сварки трением заметно расширяется. На рис. 57, *а* и *б* приведен карданный вал автомобиля, изготовленный по двум вариантам. Деформация ушков вилки кардана вызывает смещение оси отверстий диаметром 39 мм, что ведет к перекосу подшипников и снижению долговечности карданной передачи. Обеспечение соосности отверстий при последующей обработке увеличивает стоимость изготовления. В то же время требуемая точность без последующей механической обработки может быть получена при сварке трением. Стабильность размеров и уменьшение остаточных деформаций в этом случае объясняется более равномерным нагревом при сварке трением и увеличением расстояния от оси шва до оси отверстий в вилке кардана без изменения размеров штампованной заготовки. Одновременная сварка трением сразу двух стыков легко поддается автоматизации, обеспечивая при этом требуемую соосность всего карданного вала.

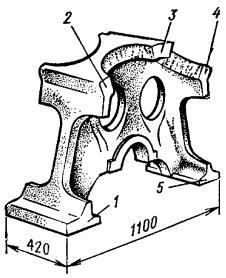


Рис. 56. Литая стойка картера тепловозного дизеля

Изготовление опорного катка трактора из двух половин дуговой сваркой вполне оправдано. Полная автоматизация сборочно-сварочной операции достигается при использовании автомата роторного типа (рис. 58). Ротор *1* оборудован четырехместной планшайбой со специальными устройствами для сборки, закрепления и вращения катка. Над каждым таким устройством (гнездом ротора) установлена сварочная головка *3* с катушкой *5* электродной проволоки и флю-

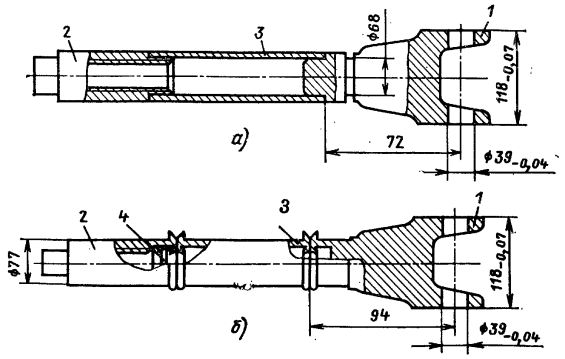


Рис. 57. Карданный вал автомобиля:

а — при сварке в углекислом газе; *б* — при сварке трением; *1* — вилка; *2* — шлицевая втулка; *3* — труба кардана; *4* — уплотнительная заглушка

сподающими трубками *4* и *6*. Планшайба и кольцевая обойма со сварочными головками смонтированы на общем вертикальном валу и вращаются вокруг его оси, обеспечивая производительность 150 шт./ч при скорости сварки 1 м/мин. Автомат работает следующим образом. Из загрузочного лотка *1* (рис. 59), снаб-

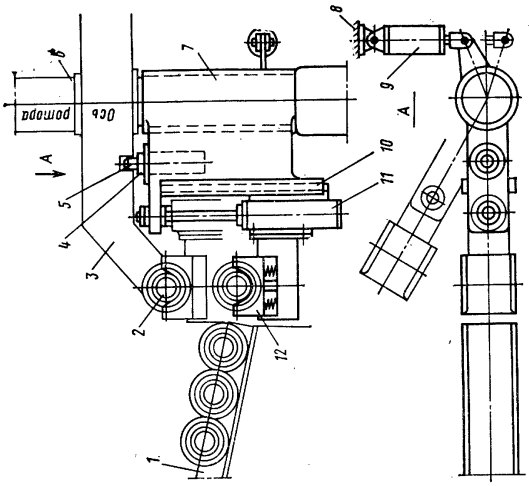


Рис. 59. Загрузочное устройство роторного автомата

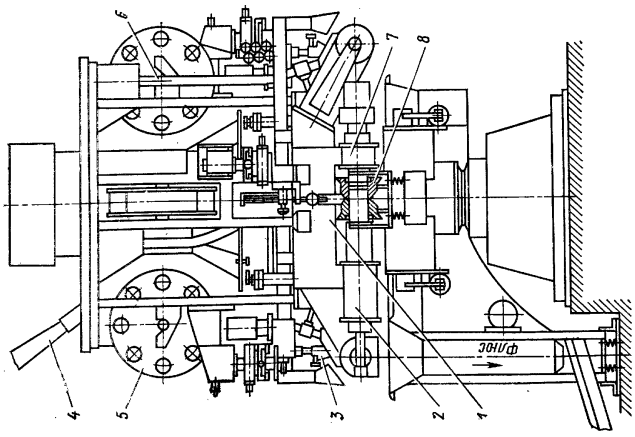


Рис. 58. Автомат роторного типа для сварки опорного катка трактора

женного системой отсекателей, обе заготовки одновременно поступают в приемную призму *12* манипулятора. Под действием пневмоцилиндра *4* фиксатор *5* входит в зацепление с ротором *3*, после чего манипулятор *7* начинает поворачиваться вместе с ротором *3* вокруг оси вала *6*. При этом пневмоцилиндр *11* по направляющим *10* подает призмы *12* вверх до зажимных пинолей *2*, центрирующих половины катка с прижатием их друг к другу. Цилиндр *11* опускает призму *12*, цилиндр *4* выводит из зацепления фиксатор *5*, и манипулятор *7* возвращается в исходное положение пневмоцилиндром *9*, закрепленным на станине *8*. Включается сварочный вращатель (см. рис. 58) с приводной *2* и холостой *7* бабками, и начинается процесс сварки. При этом ротор *1* и изделие *8* непрерывно и равномерно вращаются относительно своих осей. После того как свариваемый каток совершит полный оборот вокруг своей оси и 0,75 оборота вокруг оси ротора, сварка прекращается и изделие выгружается на ходу при определенном положении ротора.

Шкивы, барабаны и другие детали подобного типа обычно изготовляют с помощью дуговой сварки. При серийном производстве зубчатых колес сварку используют в ограниченной степени. В то же время экономичность выпуска блоков зубчатых колес привода автомобилей и тракторов сварными взамен цельных не вызывает сомнений. Опыт автомобильной промышленности США свидетельствует о целесообразности широкого использования сварки блоков зубчатых колес электронным лучом. Предполагается широкое внедрение поточных и автоматических линий сварки зубчатых колес электронным лучом в низком вакууме. В связи с опасностью образования трещин в этом случае для зубчатых колес следует использовать хорошо сваривающиеся низколегированные стали, например 15ХГН2ТА.

Для изготовления сложных сварных узлов необходимо выполнять сборочные и сварочные операции в сочетании с операциями механической обработки и транспортирования узла с одной позиции на другую. В крупносерийном производстве для этой цели используют автоматические линии, оснащенные специальным оборудованием. На рис. 60 показана схема такой линии для производства балок заднего моста автомобиля ЗИЛ-130. На стенде *I* выполняют сборку балок и сварку корневых швов. Последовательность их выполнения показана на рис. 61. Два оператора укладывают штампованные половинки балки (рис. 61, *а*) в базы транспортирующего устройства на позиции *1* и клиновые вставки на позиции *2*. Поданная на позицию *2* балка поднимается до сварочных головок. Поворотные рычаги *3* устанавливают клиновые вставки *2* в вырезы балки *1* (рис. 62). Затем одновременно четыре сварочные головки *4* с двух сторон на вертикальной плоскости сваривают четыре корневых шва по схеме, приведенной на рис. 63, *а*, после чего подъемный механизм возвращает балку в базы транспортирующего устройства. В процессе передачи балки с позиции *2* (см. рис. 61, *б*) на позицию *3* она кантуется на 180°, и здесь оставшиеся корневые швы свариваются двумя горелками (см. рис. 61, *в* и 63, *б*). На позиции *4* (см. рис. 61, *в* и *г*) механическая рука сбрасывает балку в накопитель, откуда оператор с помощью легкого консольного крана подает их на стенд *II* (см. рис. 60) для выполнения второго прохода. В связи с меньшей скоростью сварки второго облицовочного шва на этом участке линии предусмотрены два параллельных стенда. Сварка выполняется на позициях *6* и *7* в нижнем положении, между позициями балка кантуется на 180°. Схема сварки одновременно двумя головками показана на рис. 64. Затем балки с двух параллельных стендов механической рукой последовательно подаются на стенд *III* (см. рис. 60) для автоматической правки под прессом на позиции *10* с последующим визуальным контролем на позиции *11а*. После механической обработки на стенде *IV* балка поступает на сборочный стенд *V*. На позиции *16* в процессе передачи балки с верхнего транспортирующего устройства на нижнее кольцо подается и прижимается снизу, а на позиции *17* крышка укладывается сверху, и четыре сварочные головки ставят прихватки. При этом подача кольца и крышки осуществляется механизмами из питателей. Сварка кольцевых швов выполняется на двух параллельных стендах *VI*, куда с поворотом

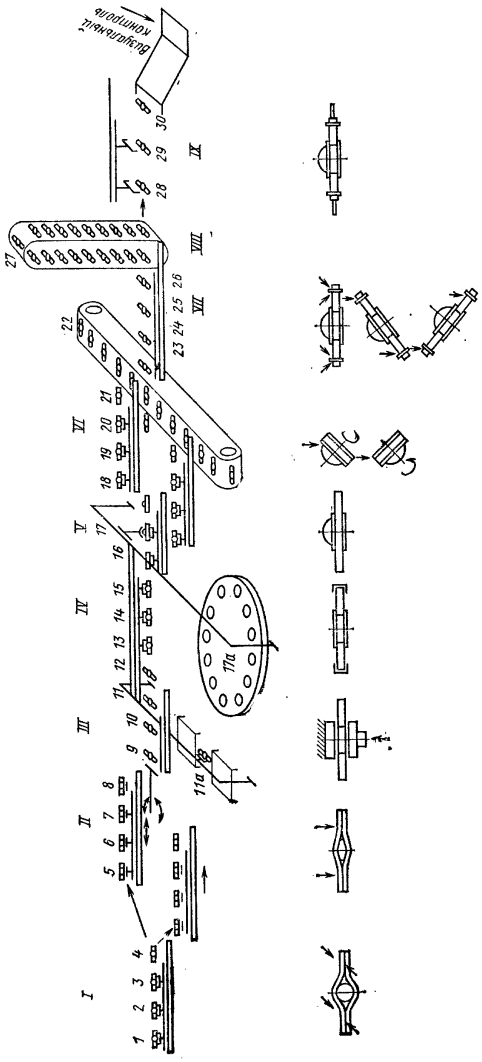


Рис. 60. Схема автоматической линии для производства балок заднего моста автомобиля ЗИЛ-130:
1—30 — рабочие места на линии

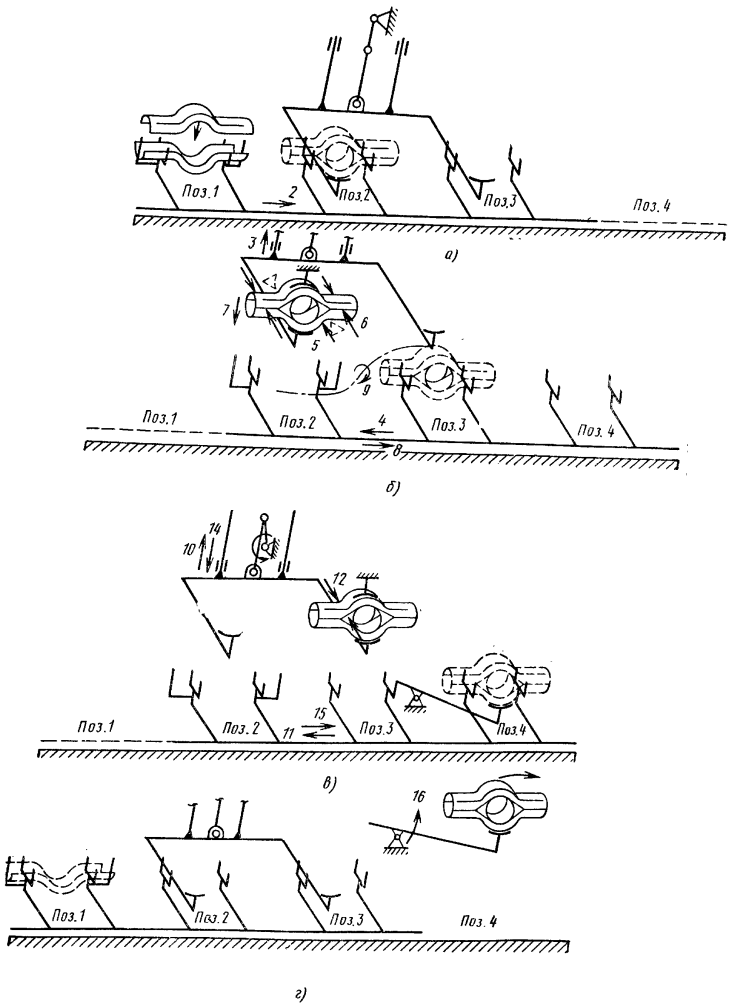


Рис. 61. Схема выполнения сборочно-сварочных операций на стенде *I*

на 90° балки подаются специальным манипулятором. На каждой из позиций *19* и *20* манипулятор-подъемник снимает балку с шаттла и устанавливает ее на вращатель, после чего осуществляется сварка соответствующего шва в положении в «лодочку». На стенд *VII* сборки и сварки тормозных фланцев балка посту-

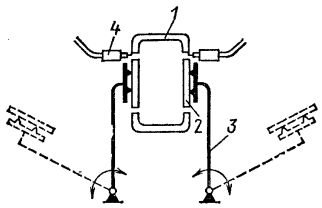


Рис. 62. Схема подачи клиновых вставок

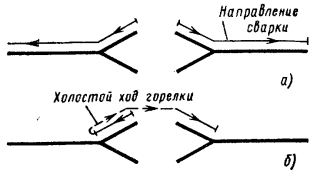


Рис. 63. Схема движения головок при сварке корневых швов

пает, проходя накопитель *22*. Фланцы автоматически подаются из магазинов, центрируются и одновременно насаживаются на концы балок с двух сторон на позиции *24*, и здесь же четыре сварочные головки одновременно сваривают корневые швы крепления фланцев при вращении балки относительно продольной оси. Второй проход этих швов выполняется на позициях *25* и *26* в положении в «лодочку» одновременно двумя сварочными головками. Для охлаждения концов перед приваркой цапф трением на позицию *28* балка поступает после прохождения вертикального конвейера *27*, на котором она находится не менее 40 мин. Оператор укладывает цапфы в два наклонных лотка-накопителя, откуда они специальным механизмом подаются в зажимные патроны. Сварка трением осуществляется при неподвижном корпусе балки за счет вращения и продольного перемещения патронов с цапфами. После окончания сварки патроны освобождают приваренные цапфы, и смонтированными на этих же патронах резцовыми головками производится удаление наружного грата. Последние две позиции предназначены для контроля качества сварки цапф и фланцев.



Рис. 64. Схема движения сварочных головок при сварке облицовочных швов

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Васильев К. В.** Плазменно-дуговая резка. М., «Машиностроение», 1974. 111 с.
2. **Гитлевич А. Д., Этингоф Л. А.** Механизация и автоматизация сварочного производства. М., Машиностроение, 1972. 280 с.
3. **Грицук Н. Ф., Антонов С. П.** Производство широкополочных двутавров. М., Металлургия, 1973. 304 с.
4. **Контактная** стыковая сварка картеров блоков мощных транспортных дизелей/ В. К. Лебедев и др. — Автоматическая сварка, 1976, № 11, с. 51—54.
5. **Корниенко В. С., Поповский Б. В.** Сооружение резервуаров. М., Издательство по строительству, 1971. 224 с.
6. **Куркин С. А.** Прочность сварных тонкостенных сосудов, работающих под давлением. М., Машиностроение, 1976. 184 с.
7. **Куркин С. А.** Технология изготовления сварных конструкций. М., Машгиз, 1962. 151 с.
8. **Матвеев Ю. М., Ваткин Ю. Я., Кричевский Е. М.** Сварные трубы. М., Металлургия, 1972. 184 с.
9. **Николаев Г. А., Куркин С. А., Винокуров В. А.** Расчет, проектирование и изготовление сварных конструкций. М., Высшая школа, 1971. 760 с.

10. **Проектирование** сварных конструкций в машиностроении. Под ред. С. А. Куркина. М., Машиностроение, 1975. 376 с.
11. **Рыжков Н. И.** Производство сварных конструкций в тяжелом машиностроении. М., Машиностроение, 1970. 384 с.
12. **Севбо П. И.** Комбинированные машины для сварочного производства. Киев, Наукова думка, 1975. 223 с.
13. **Севбо П. И.** Комплексная механизация и автоматизация сварочного производства. Киев, Техніка, 1974. 416 с.
14. **Технология** судостроения. Под ред. В. Д. Мацкевича, Л., Судостроение, 1971. 616 с.
15. **Удодов Ф. П., Едаменко А. Н.** Повышение усталостной прочности сварных соединений рам электровозов. — Сварочное производство, 1976, № 10, с. 32—35.
16. **Чесноков А. С.** О поточном изготовлении строительных стальных конструкций.— Промышленное строительство, 1972, № 1, с. 40—42.
17. **Электронно-лучевая** сварка применительно к узлам атомных реакторов/ Н. А. Ольшанский и др. Труды МЭИ, 1975. Вып. 225, с. 3—15.

Глава 10

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Классификация оборудования для производства сварных конструкций приведена на рис. 1. Основное сварочное оборудование (источники питания, сварочные аппараты, машины, установки и станки), оборудование для термической резки, контроля и испытаний сварных конструкций рассмотрены в 4-м томе справочника, механизированные и автоматические линии сварочного производства — в гл. 11.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Оборудование для правки. Правку используют для выправления проката до его обработки, заготовок после вырезки, изделий после сварки и производят путем пластического изгиба или растяжения материала. По принципу действия оборудование для правки разделяют на ротационные машины, прессы и растяжные правильные машины. К ротационным машинам относятся листоправильные многовалковые и сортоправильные многороликовые машины. Для правки используют прессы: винтовые, гидравлические колонные, гидравлические с передвижным порталом, гидравлические и кривошипные горизонтальные, гидравлические и кривошипные одностоечные.

Листоправильные многовалковые машины предназначены для правки листового проката и листовых заготовок (табл. 1). Листоправильные машины (рис. 2) изготовляют с числом валков от 5 до 23. Для металла малых толщин применяют машины с бо́льшим числом валков. Машины могут иметь параллельное и непараллельное расположение рядов валков. Непараллельная установка рядов валков обеспечивает постепенное уменьшение кривизны перегиба листов в валках, что повышает качество правки.

Сортоправильные многороликовые машины предназначены для правки сортового и фасонного проката (табл. 2 и 3). Заготовка проходит между двумя рядами правильных роликов, расположенных в шахматном порядке, многократно изгибается и выправляется. Ролики выполняют сменными в зависимости от конфигурации сечения выправляемого материала, что позволяет править на одной машине различные профили. Сортоправильные машины имеют от 7 до 11 правильных роликов. Машины с бо́льшим числом роликов применяют для материала меньших сечений.

Винтовые прессы используют для правки листовых заготовок длиной и шириной до 1000 мм. Для правки применяют винтовые фрикционные прессы и винтовые прессы с дугостаторным приводом [5].

Гидравлические колонные прессы предназначены для правки и гибки крупногабаритного листового и полосового проката и заготовок, а также для правки

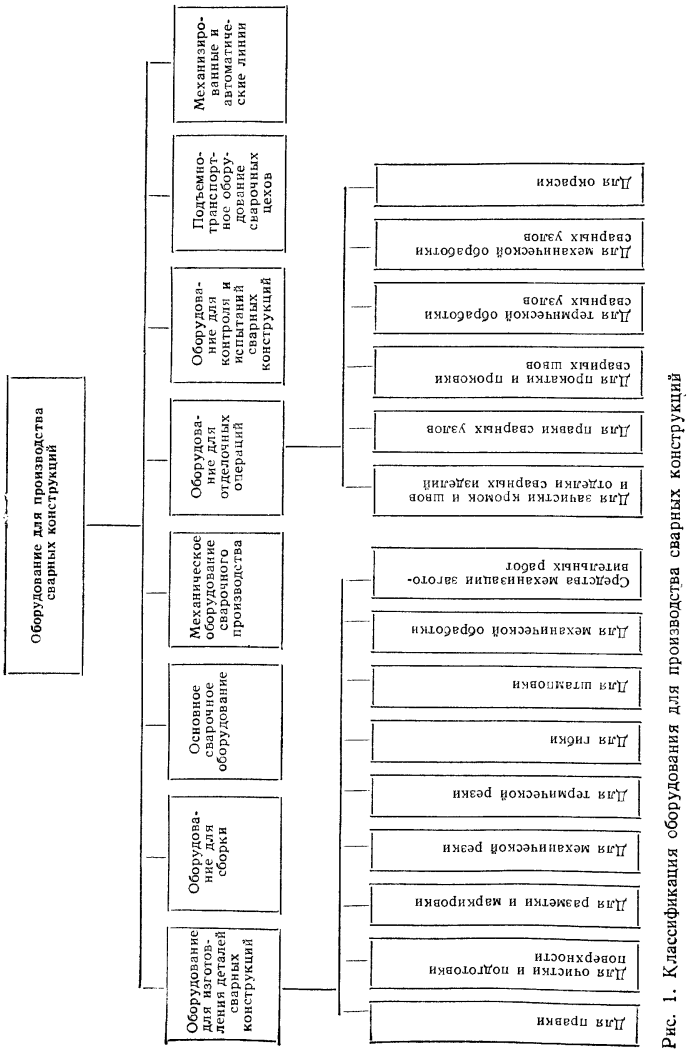


Рис. 1. Классификация оборудования для производства сварных конструкций

1. Техническая характеристика листоправильных многовалковых машин

Параметр	СССР						ГДР			
							Базовая модель			
	17×120××1700	11×230××1700	11×280××2000	9×360××2800	7×500××3550	UBR 2,7×2000*1	UBR 5,6×2000*2	UBR 10×2000*3	UBR 18×2000*4
Размеры выправляемого листа, мм:									
толщина	1,2—4	4—12	4—10	6—16	12—30	0,6—2,7	2—5,6	4—10	6—18
наибольшая ширина	1550	1550	1 850	2 560	3 000	2000	2000	2000	2000
Предел текучести металла, кгс/мм²	35	35	67	80	80	28	28	28	28
Число правильных валков	17	11	11	9	7	21	17	11	11
Диаметр правильных валков, мм	120	230	230	360	500	—	—	—	—
Шаг правильных валков, мм	130	250	250	370	510	—	—	—	—
Скорость правки, м/с	0,5	0,2	0,3	0,17	0,17	0,25	0,25	0,22	0,17
Вертикальный ход верхних правильных валков от плоскости касания валков, мм:									
вверх	60	100	100	130	130	—	—	—	—
вниз	10	20	20	30	30	—	—	—	—
Мощность электродвигателей привода, кВт:									
вращения валков	75	63	160	125×2	125×2				
подъема — опускания верхних валков	2×3,3	11	11	22	28	40	50	49	67
подъема направляющих валков	2×1,7	2×2,8	2×2,8	2×3,5	2×3,5				
Габаритные размеры, мм:									
длина	6800	8700	11 100	11 828	14 380	5400	6850	6800	7500
ширина	2300	3500	3 600	4 905	6 015	1470	2200	2030	3000
высота	2500	4400	4 420	6 368	7 650	2200	2300	3320	3440
Масса, т	27	88	90,5	218,2	424	24,8	25,5	35,5	48

Модификациями базовой модели являются машины для правки листов шириной:

*1 До 1000; 1250; 1600 мм и толщиной соответственно до 3,9; 3,5; 3,0 мм.
*2 До 1000; 1250; 1600 мм и толщиной соответственно до 8; 7,1; 6,3 мм.
*3 До 1000; 1250; 1600; 2500 мм и толщиной соответственно до 14; 12,5; 11; 9 мм.
*4 До 1600; 2500; 3150 мм и толщиной соответственно до 20; 16; 14 мм.

Примечание: 1. Число направляющих валков, входящих в общее число правильных валков, у машин, выпускаемых в СССР, 2.
2. Отечественное оборудование изготовляет Старо-Краматорский машиностроительный завод им. Орджоникидзе.

сварных узлов. Гидравлический правильно-гибочный пресс конструкции Уралмашзавода показан на рис. 3. Пресс имеет следующую характеристику:

Усилие пресса, тс	1200
Наибольшие размеры выправляемых изделий, мм:	
длина	9000
ширина	2500
высота	500
Наибольший ход траверсы, мм	1200
Скорость перемещения траверсы, мм/с:	
при опускании	150
при рабочем ходе	10
при обратном ходе	70
Размеры стола, мм	7100×3000
Наибольший ход стола в одну сторону, мм	4 500
Габаритные размеры, мм:	
длина	32 830
ширина	9 750
высота над уровнем пола	6 300
Масса, т	331

Гидравлические правильные прессы с передвижным порталом предназначены для правки проката и заготовок из фасонного, сортового и листового материала,

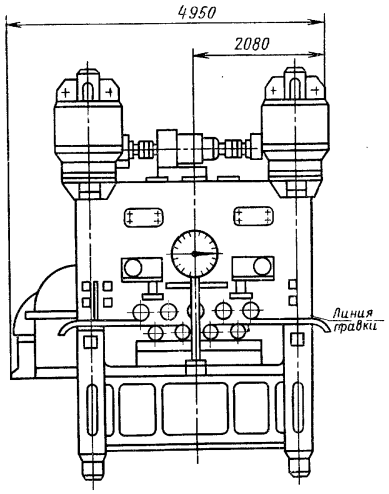


Рис. 2. Девятивалковая листоправильная машина 9 × 360 × 2800 мм

а также для правки сварных узлов. Портал прессов перемещается по направляющим плиты и несет рабочий гидроцилиндр, смонтированный на каретке, которая перемещается по траверсе портала. Портал может иметь неподъемную (рис. 4) или подъемную (рис. 5) траверсы. Пресс конструкции Уралмашзавода (см. рис. 4) имеет следующую техническую характеристику:

Усилие пресса, тс	150
Скорость перемещения штока, м/мин:	
быстрого хода вниз	1,3
медленного хода вниз	0,1
быстрого хода вверх	4,8
медленного хода вверх	0,37
Скорость перемещения, м/мин:	
портала	15,0
каретки с цилиндром	5,0
Наибольший ход цилиндра вдоль портала, мм	2 650
Рабочий просвет, мм:	
по ширине	3 000
по высоте	935
Рабочая длина стола, мм	11 750
Наибольший ход портала, мм	9 100

2. Техническая характеристика сортоправильных многороликовых машин

Параметр	11×200	11×320	9×400	9×500	9×600	9×800	Роликовый станок для правки полос и проволоки
Число правильных роликов	11	11	9	9	9	9	—
Шаг правильных роликов, мм	500	320	400	500	600	800	—
Максимальный момент правки, кгс·м	200	600	1400	3000	6750	10 200	—
Наибольшая высота выправляемого профиля, мм	60	70	80	110	140	190	Толщина полос 3—8 мм. Ширина полос 20—60 мм
Диаметр выправляемого круглого проката, мм	5—30	8—45	15—60	25—80	30—90	60—125	6; 8; 12
Скорость правки, м/с	0,8; 1,2; 1,6; 2,45	0,33; 0,5; 0,7; 1	0,9; 1,4; 1,9; 2,9	0,8; 1,2; 1,6; 2,4	0,5; 0,75; 1; 1,5	0,47	0,37
Мощность электродвигателей, кВт:							
привода роликов	12; 17; 20; 25	18,9; 26,6; 32,4; 39,1	50; 75; 100; 150	32; 52; 72; 100	50; 75; 100; 150	55	5,5
механизм вертикальной настройки	Ручной привод	2,2×5	2,2×4	5×4	5×4	7,5×4	—
Габаритные размеры, мм:							
длина	4200	5300	5615	6340	9030	6830	1185
ширина	1660	2680	3030	3480	5020	6020	815
высота	1630	3290	3150	3120	3430	3950	1100
Масса, т	9	25	29	45	84	125	1,1

Примечание: 1. Машины предназначены для правки материала с пределом текучести до 30 кгс/мм².
2. Многороликовые машины изготовляет Старо-Краматорский машиностроительный завод им. Орджоникидзе; роликовый станок разработан Научно-производственным объединением «Ритм».

3. Техническая характеристика сортоправильных многороликовых машин типа UFR (ГДР)

Параметр	UFR 9×320	UFR 7×400	UFR 7×500	UFR 7×630	UFR 7×800	UFR 7×1000	UFR 7×1250
Число правильных роликов	9	7	7	7	7	7	7
Шаг правильных роликов, мм	320	400	500	630	800	1000	1250
Размеры выправляемого материала (при $\sigma_т$ = = 30 кгс/мм²), мм:							
диаметр круга	18—56	25—68	30—80	40—100	50—130	70—160	90—200
сторона квадрата	18—50	25—64	30—76	40—95	50—125	70—150	90—190
размер полосы до	80×25	100×25	120×40	140×40	160×60	180×80	200×80
размер уголка	30×30×4— 80×80×14	50×50×4— 110×110×14	60×60×6— 130×130×16	80×80×8— 160×160×17	100×100×10— 200×200×20	140×140×13— 240×240×20	160×160×15
№ швеллера	3—12	6—14	8—18	10—24	14—35	20—40	30—40
№ двутавра	6—12	6—14	8—18	10—24	14—36	20—45	30—60
погонная масса 1 м рельса, кг	До 5	5—10	7—18	10—24	12—38	20—41	33—49
Максимальный момент правки, кгс·м	600	900	1500	3000	6500	13 000	26 000
Скорость правки, м/с	0,75; 1,5; 2,0; 4,0	0,75; 1,5; 2,0; 4,0	0,5; 1,0; 1,5; 3,0	0,5; 1,0; 1,5; 3,0	0,4; 0,8; 1,2; 2,4	0,4; 0,8; 1,2; 2,4	0,4; 0,8; 1,2; 2,4
Вертикальное перемещение нижних правильных роликов, мм	80	80	110	120	150	200	200
Габаритные размеры, мм:							
длина	2500	—	—	4200	4900	6200	8000
ширина	2400	—	—	3300	3950	4800	5800
высота над уровнем пола	1730	—	—	2500	3000	3340	4350
общая высота	1850	—	—	3200	4030	4950	6850
Масса, т	8	13	18	30	57	125	212

Пресс мод. CDN400 (рис. 5) с подъемной траверсой конструкции Ждярского машиностроительного завода (ЧССР) имеет следующую техническую характеристику:

Усилие пресса, тс	400	Расстояние, мм:	
Наибольшие размеры выправляемых изделий, мм:		между стойками	2500
		между колесами	2200
длина	5000	Габаритные размеры, мм:	
ширина	2200	длина	5000
высота	1350	ширина	3650
Размеры стола, мм	5000×2380	высота	3570
Ход плунжера, мм	100	Масса, т	37,5

Гидравлические и кривошипные горизонтальные и одностоечные прессы предназначены для правки и гибки фасонного и сортового проката. Наилучшие показатели имеют гидравлические горизонтальные прессы (рис. 6 и табл. 4).

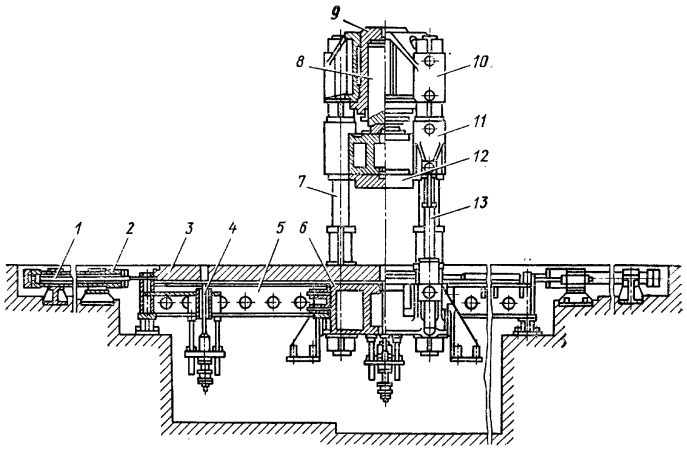


Рис. 3. Гидравлический правильно-гибочный пресс:

1 — гидроцилиндр для перемещения стола; *2* — плунжер; *3* — выдвижной стол; *4* — выталкиватель; *5* — консоль; *6* — нижняя поперечина; *7* — колонна; *8* — плунжер рабочего цилиндра; *9* — рабочий гидроцилиндр; *10* — верхняя поперечина; *11* — подвижная траверса; *12* — плита для крепления пуансона; *13* — гидроцилиндр подъема траверсы

Растяжные правильные машины предназначены для правки проката и заготовок малых толщин и сечений. При правке растяжением выправляемую заготовку закрепляют по концам в зажимных головках машины; перемещением рабочей головки заготовку растягивают и выправляют [5].

Оборудование для очистки и подготовки поверхности. Очистку применяют для удаления с поверхности металла средств консервации, загрязнений, смазочно-охлаждающих жидкостей, ржавчины, окалины, заусенцев, грата и шлака. Для очистки проката, деталей и сварных узлов используют механические и химические методы.

Дробеструйную и дробеметную очистку применяют для листового и профильного проката и сварных узлов с целью очистки от окалины, ржавчины и загрязнений при толщине металла 3 мм и более. В дробеструйных аппаратах дробь выбрасывается на очищаемую поверхность через сопло с помощью сжатого воздуха. В дробеметных аппаратах дробь выбрасывается лопатками ротора в результате центробежной силы. Для очистки применяют дробь: чугунную литую (ДЧЛ), чугунную колотую (ДЧК), стальную литую (ДСЛ), стальную колотую

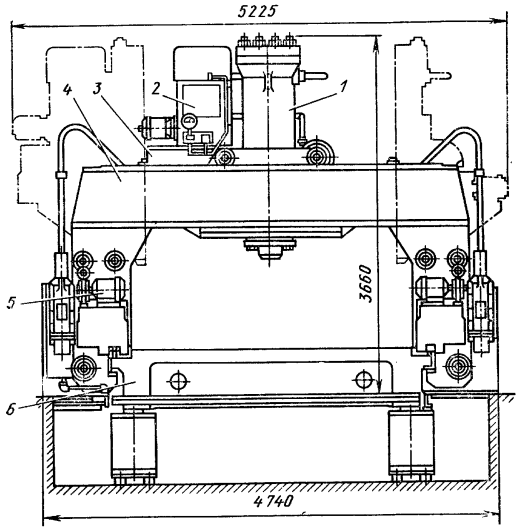


Рис. 4. Гидравлический пресс с передвижным порталом:

1 — рабочий гидроцилиндр; *2* — гидропривод; *3* — тележка; *4* — портал; *5* — привод перемещения портала; *6* — плита

(ДСК) и стальную рубленую (ДСР). При толщине металла до 4 мм используют дробь размером 0,7—0,9 мм; при толщине металла до 30 мм — размером 0,9—1,6 мм; при толщине металла свыше 30 мм — размером 1,6—2,5 мм. Дробеструйную и дробеметную очистку производят в камерах, в которых установлены очистные аппараты, оборудованные для размещения и транспортировки очищаемых изделий, устройства для сбора, сепарации (очистки), возврата дроби и для вытяжки загрязненного воздуха (рис. 7). Очистку проката и заготовок обычно производят дробеметным методом, очистку сварных узлов (труднодоступных мест) — дробеструйным.

Технические данные выпускаемых аппаратов для дробеструйной и дробеметной очистки приведены в табл. 5—7.

После дробеметной или дробеструйной очистки прокат подвергают пассивированию или грунтовке для предохранения от ржавчины в процессе изготовления сварных конструкций.

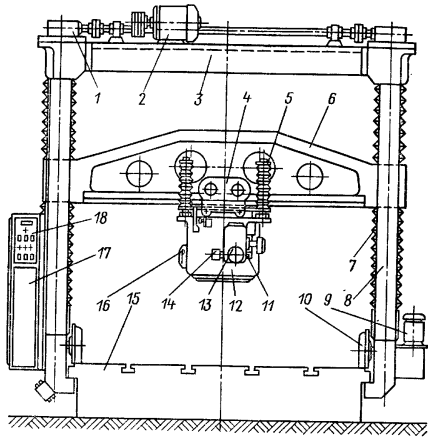


Рис. 5. Гидравлический пресс с передвижным порталом и регулируемой траверсой:

1 — редуктор привода подъема траверсы; *2* — электродвигатель привода подъема траверсы; *3* — поперечина; *4* — силовая головка; *5* — тарельчатая пружина; *6* — траверса; *7* — винт; *8* — стойка; *9* — электродвигатель привода перемещения портала; *10* — колесо; *11* — впускной вентиль; *12* — рабочий гидроцилиндр; *13* — насос; *14* — предохранительный клапан; *15* — плита; *16* — электродвигатель насоса; *17* — распределительный шкаф; *18* — пульт управления

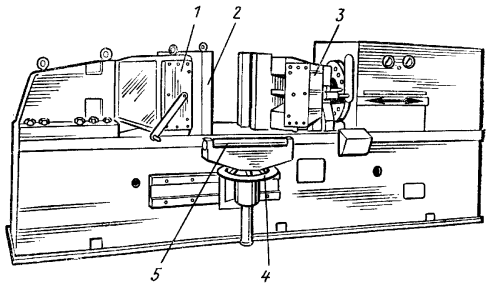


Рис. 6. Горизонтальный гидравлический правильно-гибочный пресс:

1 — траверса; *2* — опорная колодка; *3* — ползун; *4* — маховик; *5* — поддерживающий ролик

Для очистки фасонного проката и труб наряду с дробеметной и дробеструйной очисткой применяют зачистные станки, рабочим органом которых являются металлические щетки, иглофрезы, шлифовальные круги или ленты (см. рис. 2 на стр. 334).

4. Техническая характеристика правильно-гибочных горизонтальных гидравлических прессов типа РУХWМ (ГДР)

Параметр	РУХWМ 63	РУХWМ 160	РУХWМ 250	РУХWМ 400
Номинальное усилие, тс	63	160	250	400
Наибольшие размеры заготовок при правке и гибке при $\sigma_в = 45$ кгс/мм²:				
номер двутавра в вертикальном положении	24	36	60	60
номер двутавра в горизонтальном положении	20	26	30	55
номер швеллера в вертикальном положении	24	35	60	60
номер швеллера в горизонтальном положении	20	26	30	40
размер уголка, мм	150×14	180×16	200×20	—
диаметр круга, мм	125	180	210	340
размер квадрата, мм	110	160	190	280
погонная масса 1 м рельса (при $\sigma_в = 70$ кгс/мм²), кг	34	64	64	64
диаметр труб с толщиной стенки свыше 5 мм, мм	76—146	108—241	241—368	—
Внутренний диаметр колец при гибке, мм:	500	900	1400	2000
из полосы сечением до	250×40	360×60	600×80	—
из круга диаметром до	95	140	180	—
из квадрата размером до	80	125	160	—
Ход ползуна, мм	400	500	560	700
Вылет, мм	175	260	320	700
Диапазон регулирования опорных колодок, мм:				
на опорной траверсе	200—830	240—1100	260—1250	350—1400
на траверсе ползуна	200—430	240—700	260—850	350—1000
Высота колодок опорной траверсы, мм	250	400	630	700
Потребляемая мощность, кВт	5,5	10	10	17
Габаритные размеры, мм:				
длина	2500	3370	3875	5000
ширина	1300	1650	1800	2000
высота	1350	1480	1550	1900
Масса, т	2	6	9	12

Для зачистки деталей сварных конструкций используют универсальные и специализированные станки и галтовочные барабаны. Характеристика универсальных шлифовальных станков (мод. 3Б634, 3Б631, 3Б631А и др.) приведена в работе [8]. Техническая характеристика специального зачистного оборудования приведена ниже.

Станок для зачистки заусенцев (Уралмашзавод):

Размеры обрабатываемых деталей, мм:	
толщина	2—5
ширина	650
Скорость движения обрабатываемых деталей (транспортерной ленты), м/с	0,3
Частота вращения абразивных кругов, об/мин	4275
Масса, кг	2185

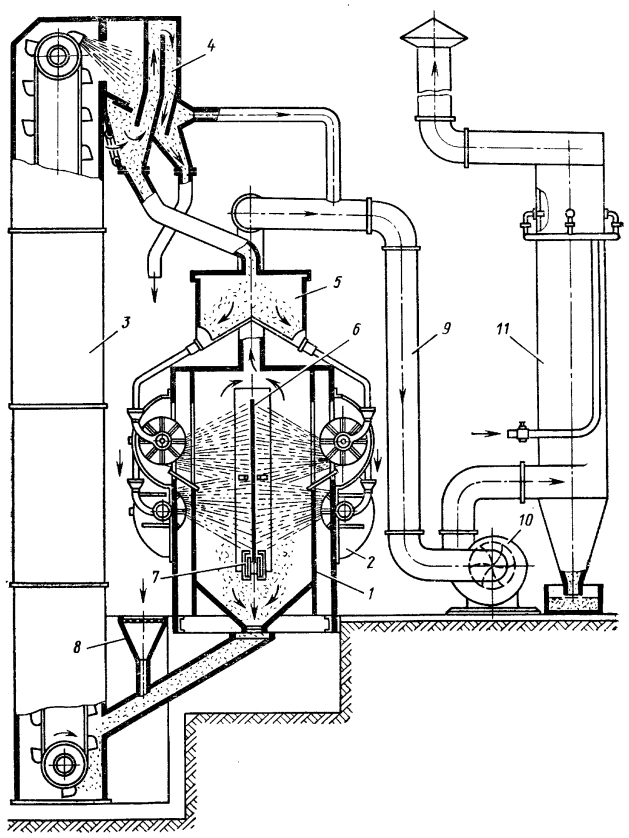


Рис. 7. Установка для дробеметной очистки листов:

1 — дробеметная камера; *2* — дробеметные аппараты; *3* — элеватор; *4* — сепаратор; *5* — расходный бункер; *6* — очищаемый лист; *7* — механизм передвижения листа; *8* — загрузочная воронка; *9* — вытяжной трубопровод; *10* — вентилятор; *11* — циклон

5. Техническая характеристика дробеструйных аппаратов

Параметр	334М	44122
Вместимость камеры, л	140	145
Рабочее давление воздуха, кгс/см²	6	6
Производительность, кг/ч	1500	1800
Масса дроби, загружаемой в аппарат, кг	175	150
Радиус действия, м	3	5
Габаритные размеры, мм:		
длина	1650	1010
ширина	840	500
высота	2040	1590
Масса, кг	750	500

Примечание. Изготовитель — Усманский завод литейного оборудования.

6. Техническая характеристика беспыльных дробеструйных аппаратов

Параметр	АД-1	АД-2	АД-3	АД-5	БДУ-Э3
Производительность при очистке ржавчины, м²/ч	2—5	3—6	0,5—1	0,8—1,5	1—6
Давление сжатого воздуха, кгс/см²	6—7	6—7	5—7	5—7	5—7
Расход воздуха, м³/ч	280	560	230	230	300
Масса дроби, загружаемой в аппарат, кг	50	150	8	15	30
Габаритные размеры, мм:					
длина		1345	350	450	740
ширина		860	350	450	600
высота		2000	700	1000	1190
Масса (без дроби), кг	150	370	15	37	106

Примечание: 1. Аппараты АД снабжены набором сменных рабочих головок для очистки плоских поверхностей, угловых соединений и др. Аппарат АД-2 дополнительно комплектуется трехсопловой самоходной головкой для очистки листов, расположенных в горизонтальной плоскостн. Аппараты АД-3 и АД-5 предназначены для очистки в особо стесненных местах.

2. Модели АД-1, АД-2, АД-3, АД-5 разработаны Научно-производственным объединением «Ритм»; модель БДУ-Э3 — ВПТИтяжмашем.

7. Техническая характеристика дробеметных аппаратов

Параметр	2М392 (2М393)	42115 (42125)	42116 (42126)	42117 (42127)	Примечание
Производительность, кг/мин	160	250	400	630	1. Скорость выхода дроби до 80 м/с; число лопастей 8; частота вращения 2250 об/мин; диаметр рабочего колеса 500 мм.
Мощность электродвигателя, кВт	17	22	40	55	
Габаритные размеры, мм:					
длина	1250	1100	1170	1150	2. Изготовитель — завод литейного оборудования «Амурлитмаш», г. Комсомольск-на-Амуре.
ширина	1020	1100	1100	1100	
высота	720	750	760	760	
Масса, кг	590	590	590	590	

Вальцы для закатки заусенцев (Уралмашзавод):

Размеры обрабатываемых деталей, мм:	
толщина	До 1
ширина	700
Скорость движения обрабатываемых деталей, м/с	1,18
Частота вращения валков, об/мин	137

Станок для зачистки концов труб СКЗТ-2 (НПО «Ритм»):

Наружный диаметр зачищаемых труб, мм	70—160
Длина защищаемой поверхности трубы, мм	50
Наибольшая длина зажимаемого конца трубы, мм	250
Диаметр иглофрезы, мм	145
Частота вращения иглофрезы, об/мин	600
Усилие зажатия конца трубы, кгс	500
Время зачистки трубы среднего диаметра, минуты	1
Габаритные размеры, мм:	
длина	895
ширина	670
высота	1425
Масса, кг	420

Механизированная установка с галтовочным барабаном (Уралмашзавод):

Число секций в барабане	2
Объем одной секции, м³	0,42
Наибольшая масса загружаемых деталей при заполнении секции на 0,25 объема, кг	1 100
Размеры загрузочного отверстия, мм	575×575
Наибольшая масса обрабатываемой детали, кг	8
Частота вращения барабана, об/мин	22,5
Грузоподъемность тележки для транспортировки зачищаемых деталей, т	2,5
Масса установки, кг	19 200

Химическими методами осуществляют обезжиривание и травление поверхности [6]. Травление используют для удаления с поверхности металла ржавчины и окалины.

Оборудование для разметочно-маркировочных операций. Для разметки контуров деталей с прямолинейными кромками, линий гибки и приварки и нанесения марок служит разметочно-маркировочная машина. Разметку и маркировку производят по программе, записанной на перфоленте с чертежа или копир-шаблона. Машина работает в автоматическом режиме и при ручном управлении. Машину устанавливают в линиях резки, а также можно использовать автономно. Разметку и маркировку производят до резки листа на детали. Машина имеет следующую техническую характеристику:

Наибольшие размеры обрабатываемых листов, мм:	
длина	10 000
ширина	До 2 500
Метод нанесения знаков и линий	Пневмокерном
Размеры знаков, цифр и букв, мм	12×9
Площадь, занимаемая одной маркой, мм, не более	180×100
Число знаков в марке, не более	90
Наибольшее число строк в марке	5
Среднее время нанесения одного знака, с	2
Наибольшая скорость перемещения пневмокерна при разметке и переходе от марки к марке, м/мин	8—10
Точность перемещения машины, мм	± 1,0
Время изготовления перфоленты для одного листа средней сложности, минуты	15
Машина разработана Научно-производственным объединением «Ритм»	

Оборудование для резки. При изготовлении деталей сварных конструкций применяют следующие виды резки: на ножницах, на отрезных станках, термическую, в штампах на прессах. Ножницы применяют для резки листового, фасонного и сортового материалов малых и средних толщин и сечений. Для резки используют ножницы листовые с наклонным ножом, высечные, дисковые, комбинированные, пресс-ножницы, сортовые, для резки уголка, для резки швеллеров и двутавров, ручные пневматические и электрические.

Листовые ножницы с наклонным ножом (рис. 8) предназначены для прямолинейной продольной и поперечной резки листового материала (табл. 8). В зависимости от вида привода ножницы разделяют на кривошипные, гидравлические и пневматические. Специальные конструкции листовых ножниц с наклонным ножом наряду с разделительной резкой позволяют снимать фаску под сварку (например гидравлические ножницы фирмы Corpet Lauvet, работающие на Жда-

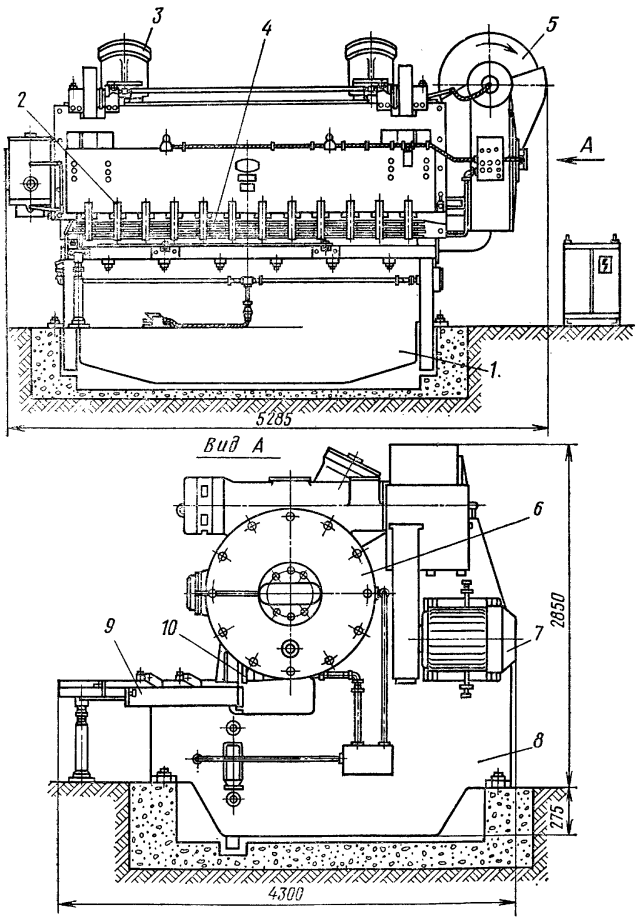


Рис. 8. Листовые кривошипные ножницы с наклонным ножом:

1 — траверса; *2* — гидравлический прижим; *3* — уравновешиватель; *4* — ограждение; *5* — маховик; *6* — червячный редуктор; *7* — электродвигатель; *8* — боковая стойка; *9* — стол с нижним ножом; *10* — ножевая балка

8. Техническая характеристика листовых ножниц с наклонным ножом

Параметр	Кривошипные											Гидравлические		Перенасыщение пневматическое
	Н Д3310	Н Д3312	Н Д3314, Н Д3314Г, Н Д3314Г	Н Д3316, Н Д3316Г, Н Д3316Г	Н Д3318, Н Д3318Г, Н Д3318Г	НА3118	НД53185	Н3121	Н3221	Н3222	Н3222А	Н3223	Н3225	Н3718А	Н3721	
Наибольшая толщина разрезаемого листа (при $\sigma_в$ = 50 кгс/мм²), мм	1,0	1,6	2,5	4	6,3	6,3	6,3	12,5	12,5	16	16	20	32	6,3	12,5	2
Наибольшая ширина разрезаемого листа, мм	1000	1300	1600	2000	2000	2000	3200	2000	3200	3150	3150	3200	3200	2000	3200	1250
Расстояние от кромки неподвижного ножа до станины (вылет), мм	—	—	300	—	—	—	—	500	500	500	500	500	300	—	500	500
Ход ножа, мм	—	34	52	65	80	—	—	105	—	—	—	—	—	—	46—125	120
Число ходов ножа в минуту	100	100	65	65	50	50	50	40	40	30	32	30	22	—	12	—
Угол наклона подвижного ножа	0°50′	0°50′	1°20′	1°19′	1°30′	1°30′	1°30′	2°10′	1°40′	2°10′	2°10′	2°10′	3°	1°30′	1°—2°30′	5°
Наибольшая длина листа, отрезаемая по заднему упору, мм	—	600	600	600	900	—	—	500	—	—	—	—	—	—	900	—
Мощность электродвигателя, кВт	1,3	2,7	3	7,5	9,4	9,0	14,3	18,5	16,5	28,2	27,0	41,4	45,0	13,0	31,1	Рабочее давление пневмосети 4 кгс/см²
Габаритные размеры, мм:																
длина	1685	2390	2300	2850	3225	2850	4423	3075	4815	5650	4910	5100	5180	2570	3800	1345
ширина	1150	2020	2020	2100	2120	2580	2920	1950	2135	3380	3355	2800	2980	1570	3440	1000
высота над уровнем пола	1060	1320	1320	1520	1550	1945	1515	2375	2290	2460	2395	2450	3030	1600	2650	1280
Масса, т	0,68	2,07	2,02	3,58	5,0	5,0	7,22	7,0	18,5	25,5	24,0	35,0	42,8	4,73	14,7	0,38

Примечание. Ножницы НД3310, НД3312, НД3314, НД3314Г, НД3314Г, НД3316, НД3316Г, НД3316Г, НД3318, НД3318Г, НД3418Г, НД3318Б изготовляет Стрийское производственное объединение по выпуску кузнечно-прессового оборудования; НА3118, Н3221, Н3222А, Н3223, Н3225, Н3718А, Н3721 — Азовский завод кузнечно-прессового оборудования; Н3121, Н3222 — Чимкентское производственное объединение по выпуску кузнечно-прессового оборудования; переносные пневматические ножницы разработаны Научно-производственным объединением «Ритм».

новском заводе тяжелого машиностроения им. 50-летия Великой Октябрьской социалистической революции). В этих ножницах на ножевой балке закреплено два ножа. При опускании ножевой балки происходит прямой рез, при повороте балки второй нож производит скос кромки.

Высечные ножницы предназначены для прямолинейной, круговой и фигурной резки листового материала (табл. 9). Ножницами осуществляют также отбортовку и рифление. Современные высечные ножницы имеют координатное устройство, обеспечивающее позиционирование заготовки в процессе резки по шаблону, а также автоматически по чертежу или по программе, записанной на перфоленте. Высечные ножницы с автоматическим позиционированием заготовки поставляет фирма Trumpf (ФРГ).

9. Техническая характеристика высечных ножниц

Параметр	Н4514	Н4516	Н4518	Н4520
Наибольшая толщина разрезаемого листа (при $\sigma_в = 45$ кгс/мм²), мм	2,5	4,0	6,3	10,0
Расстояние от оси ползуна до станины (вылет), мм	1000	1000	1250	1250
Ход ножа, мм	—	—	10	—
Число ходов верхнего ножа в минуту	2600; 1300; 680	2000; 1000; 510	2000; 1000; 510	1200; 600; 300; 200
Мощность электродвигателя, кВт	0,43; 0,58	0,7; 0,9	3,3; 4,1	4; 4,5; 5,7
Габаритные размеры, мм:				
длина	1700	1825	2250	2475
ширина	580	580	685	885
высота	1735	1735	1830	2080
Масса, т	0,6	0,83	2,09	2,5

Примечание: 1. Ножницы оснащены координатным устройством с позиционированием заготовки по шаблону.
2. Ножницы изготовляет Таганрогский завод кузнечно-прессового оборудования.

Дисковые ножницы характеризуются наличием круглых ножей, при вращении которых осуществляется резка. Различают ножницы: однодисковые с наклонным ножом, двухдисковые с наклонными ножами и многодисковые. Двухдисковые ножницы с наклонными ножами предназначены для прямолинейной, круговой и фигурной резки листового материала (табл. 10). Ножницы позволяют производить косой срез под сварку, а также отбортовку и гибку листового материала. Однодисковые ножницы с наклонным ножом предназначены для скоса прямолинейных и криволинейных кромок деталей из листового материала под сварку. Многодисковые ножницы предназначены для продольной резки рулонного и листового материала (табл. 11).

Комбинированные пресс-ножницы имеют устройства: 1) для резки сортового и фасонного материала; 2) дыропробивное; 3) для резки листового материала; 4) зарубочное. Привод всех четырех устройств осуществляется от одного электродвигателя через систему передач и кривошипно-шатунный механизм. Комбинированные ножницы отличаются от пресс-ножниц тем, что не имеют устройства для пробивания отверстий. Сортовые ножницы имеют только одно устройство для резки сортового и фасонного материала (табл. 12).

Ручные пневматические и электрические ножницы предназначены для прямолинейной и фигурной резки листового материала, а также для скоса кромок под сварку (табл. 13).

Отрезные станки применяют для резки труб, фасонного и сортового материала. На отрезных станках можно производить резку материала бо́льших сечений, чем на ножницах; при этом обеспечивается более высокое качество резки. Однако

10. Техническая характеристика дисковых ножниц

Параметр	Двухдисковые с наклонными ножами					СКС-25 однодисковые для скоса кромок под сварку
	НА4414	НА4416	Н4418	Н4420	Н4422	
Наибольшая толщина разрезаемого листа (при $\sigma_в$=50 кгс/мм²), мм	2,5	4,0	6,3	10	16	Наибольшая ширина скоса 25 мм*², угол скоса 25—50°
Расстояние от кромки ножей до станины (вылет), мм	1000	1000	1000	1000	1250	—
Расстояние от центра зажима до станины, мм	1500	1500	1800	1800	1800	—
Скорость резки, м/мин	2,5—7,5	2,5—7,5	2,5—7,5	2,5—7,5	2—6	1,5; 3,0
Диаметр ножей, мм	70	90	120	160	—	—
Мощность электродвигателей, кВт	0,75; 0,9; 1,2	1,1; 1,3; 1,7	1,6; 3,2; 5,0	3,3; 5,8; 8,5	5,6; 9,0; 12,0; 15,0	7; 10,5
Габаритные размеры, мм:						
длина	1760	2070	5076*¹	6300*¹	7590*¹	1000
ширина	840	750	1200	1435	1530	1600
высота	1440	1550	1643	1770	2780	1500
Масса, т	1,38	2,98	5,0	7,1	15,4	2,3

*¹ С приспособлением для круговой резки.
*² При $\sigma_в$ = 65 кгс/мм².

Примечание. Ножницы НА4414, НА4416, Н4418, Н4422 изготовляет Ленинаканский завод кузнечно-прессового оборудования; однодисковые ножницы разработаны Научно-производственным объединением «Ритм».

11. Техническая характеристика многодисковых ножниц

Параметр	НМД8×1850	НМД2×1550	Н4214
Размеры разрезаемого материала, мм:			
ширина	700—1800	700—1550	1000—1600
толщина	1,2—8	2	До 2,5
Предел прочности разрезаемого материала $\sigma_в$, кгс/мм²	65	50	50
Диаметр дисковых ножей, мм	450—400	270—250	315—265
Скорость резания, м/с	0,5—3	2,5	0,5—1,5
Мощность главного привода, кВт	140	100	30
Габаритные размеры, мм			
длина	11 400	7730	5300
ширина	2 350	1515	6225
высота	1 950	1285	1650
Масса, т	23,2	9,5	15,1

Примечание. Ножницы НМД8×1850, НМД2×1550 изготовляет Старо-Краматорский машиностроительный завод им. Орджоникидзе; Н4214 — Азовский завод кузнечно-прессового оборудования.

12. Техническая характеристика комбинированных пресс-ножниц и ножниц комбинированных, сортовых, для резки уголка, швеллеров и двутавров

Параметры	Комбинированные пресс-ножницы				Комбинированные ножницы				Сортовые ножницы					Ножницы Н1726 для резки шве-ллеров и двутавров
	НБ5220	НБ5221	НБ5222	НБ5223	НБ5224	НБ5225	НБ6120	НБ6121	НБ6122	НБ6123	НБ6124	НБ1425	НБ1427	НБ1428	НБ1429	НБ1431	Ножницы Н1434 для резки уголка	
Номинальное усилие, тс	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	125	—	—
Наибольшие размеры разрезаемого материала (при $\sigma_в = 45$ кгс/мм²), мм:																		
толщина листа	10	13	16	20	25	32	10	13	16	20	25	32	36	40	50	63	—	—
сечение полосы	—	—	20×140	25×150	40×180	40×130	16×110	—	20×140	—	—	—	—	—	—	—	—	—
диаметр круга	36	40	45	56	65	75	36	40	45	56	65	36	36	45	56	65	—	—
сторона квадрата	32	—	40	50	65	65	—	—	—	—	—	32	32	40	50	56	—	—
уголок под прямым углом	80×8	—	120×12	140×12	—	200×20	80×8	—	125×12	—	—	80×8	80×8	100×12	140×12	160×18	250×28	—
уголок под углом 45°	63×6	—	90×10	100×12	—	160×16	100×10*1 63×6	—	160×10*1 90×9	—	—	—	—	90×9	—	125×14	—	—
швеллер и двутавр	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	№ 40*2
Наибольший диаметр пробиваемого отверстия при наибольшей толщине материала, мм	25	25	№ 18 30	— № 22 34	— 38	№ 33 42	№ 10 —	—	№ 18*1 —	—	—	—	—	№ 18*1 —	—	№ 30*1 —	—	—
Расстояние от оси дыропробивного пуансона до станины (вылет), мм	400	500	500	600	600	750	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Число ходов ползуна в минуту	65	56	50	50	42	28	66	56	50	50	42	66	56	50	50	42	24	9
Мощность электродвигателя, кВт	2,5	4,8	6,8	6,8	11,0	14,5	2,5	4,8	6,8	6,8	11,0	2,5	4,8	6,8	6,8	11,0	27	22
Габаритные размеры, мм:																		
длина	1525	1890	2095	2530	2690	3245	1400	1690	1885	2100	2380	900	1410	1590	1825	2050	3500	4070
ширина	990	1020	1070	1445	1220	1260	900	1015	1000	1015	1210	1090	905	1000	1015	1210	2350	1400
высота над уровнем пола	1350	1590	1880	2060	2435	2840	1350	1585	1880	2080	2435	1350	1590	1880	2080	2435	2900	2900
Масса, т	1,46	2,16	3,2	4,4	6,8	9,7	1,25	1,9	2,5	3,52	5,05	1,24	1,89	2,54	3,9	5,4	17,5	14,6

*1 специальными ножами; *2 при $\sigma_в = 100$ кгс/мм².

Примечание. Ножницы НБ5220, НБ5221, НБ5222, НБ5223, НБ5224, НБ5225, НБ5120, НБ5121, НБ5122, НБ5123, НБ5124, НБ1425, НБ1427, НБ1428, НБ1429, НБ1431 изготовляет Куйбышевский завод механических прессов; ножницы Н1434, Н1726 — Азовский завод кузнечно-прессового оборудования.

трудоемкость резки на отрезных станках значительно выше, чем при резке на ножницах. Поэтому отрезные станки используют для профилей, которые невозможно резать на ножницах, например, для резки труб, профилей больших сечений, профилей под углом или в случаях, когда необходимо обеспечить высокую точность резки. Детали сварных конструкций вырезают на станках с дисковыми и ленточными пилами, трубоотрезных станках, а также станках с абразивными кругами (табл. 14).

13. Техническая характеристика ручных пневматических ножниц

Параметр	ПВН-1,2	ПВН-2	ПВН-3	ПНК-1,2	ПНК-2	ПНК-3	ПМК-10 для обработки кромок под сварку
Наибольшая толщина разрезаемого листа, мм:							
из стали средней твердости	1,2	2,0	3,0	1,2	1,7	2,5	20
из цветного металла	1,5	2,2	3,2	1,5	2,0	3,0	—
Наименьший радиус реза, мм	26	38	50	40	40	45	50
Производительность, м/мин	3—4	3—4	2—2,5	0,5	0,5	0,5	0,8—1,0
Ширина реза, мм	—	—	—	5,0	5,5	5,5	—
Число двойных ходов ножа в минуту	1000	800	1500	1000	800	1200	560
Мощность пневмодвигателя (при давлении сжатого воздуха 5 кгс/см²), л. с.	0,15	0,25	0,5	0,15	0,35	0,5	2,5
Расход воздуха, м³/мин	0,3	0,4	0,8	0,25	0,4	0,8	2,7
Габаритные размеры, мм:							
длина	164	250	295	42	68	78	102
ширина	128	130	169	150	238	288	235
высота	70	80	97	116	108	152	455
Масса, кг	1,2	1,75	3,5	1,0	1,9	2,8	12

Примечание: 1. Ножницы ПВН предназначены для разделительной резки. Ножницы «Кусачки» ПНК предназначены для вырезки фигурных деталей и вскрытия в листах отверстий сложного контура; для получения отверстий с замкнутым контуром необходимо предварительно подготовить круглое отверстие диаметром 20—25 мм. Ножницы ПМК-10 предназначены для обработки кромок шириной до 10 мм, угол скоса кромки 30 и 50°.

2. Ножницы разработаны Научно-производственным объединением «Ритм».

Термическую резку используют для листового материала средних и больших толщин и труб большого диаметра.

Оборудование для гибки. По принципу действия оборудование для гибки разделяется на ротационные машины и прессы. К ротационным относят машины листогибочные трехвалковые и четырехвалковые, листогибочные с поворотной гибочной балкой, профилегибочные многовалковые станы, зигмашины, сортогибочные роликовые, гибочные с индукционным нагревом и трубогибочные. К гибочным относят листогибочные кривошипные и гидравлические прессы и правильно-гибочные кривошипные и гидравлические горизонтальные прессы. Гибку производят также на универсальных кривошипных и гидравлических прессах [5].

Листогибочные трех- и четырехвалковые машины предназначены для гибки цилиндрических и конических обечаек и для правки обечаек после сварки (табл. 15). При гибке на трехвалковых симметричных машинах (рис. 9, *а*) боковые валки — приводные. При гибке на этих машинах концы заготовки получаются плоскими. Поэтому концы заготовки предварительно загибают на прессе или в листогибочной машине. В асимметричных трехвалковых машинах (рис. 9, *б*) передний боковой валок смещен к середине и заготовка изгибается при нажиме заднего

14. Техническая характеристика отрезных станков

Параметр	Станки с зубчатым диском							
	8Г632	8А641А	8Г642	8Г661	8Г662	8Г672	8Б672	8Г681
Наибольшие размеры поперечного сечения разрезаемой заготовки, мм:								
диаметр круга	110	160	160	240	240	350	350	500
сторона квадрата	100	140	140	220	220	300	300	—
номер швеллера	14	—	20	30	30	40	—	—
диаметр трубы	—	—	—	—	—	—	—	—
Наибольшая длина заготовки, отрезаемой по упору, мм	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1050	850
Наибольший диаметр пильного диска, мм	350	510	510	710	710	1010	1010	1430
Частота вращения шпинделя, об/мин	9,8—52,5	4,3—31,2	3,78—21,0	2,99—16,85	2,7—15,4	1,9—10,55	2,2—20,3	1,1—7,9
Подача пильного диска или отрезных резцов, мм/мин	8—500	12—550	8—500	8—500	8—500	8—500	12—500	8—500
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	3	5,5	5,5	7,5	7,5	10,0	11,0	18,5
Габаритные размеры, мм:								
длина	3375	2090	3545	2310	3465	4320	3150	4015
ширина	2050	2550	2270	2520	2490	3750	2600	3165
высота	1680	1610	1680	1750	1810	2245	2170	2455
Масса, т	3,55	3,10	4,18	4,05	4,50	8,30	8,10	10,87

Продолжение табл. 14

Параметр	Трубоотрезные станки					Станки с абразивными кругами	
	91А11	91А15	91А25	91А38	91А53	для резки и зачистки концов труб СРЗТ-1М	для резки труб СРТ-2
Наибольшие размеры поперечного сечения разрезаемой заготовки, мм:							
диаметр круга	—	—	—	—	—	—	—
сторона квадрата	—	—	—	—	—	—	—
номер швеллера	—	—	—	—	—	—	—
диаметр трубы	10—114	30—150	50—250	114—380	160—530	14—76	50—150
Наибольшая длина заготовки, отрезаемой по упору, мм	500	500	500	500	500	—	—
Наибольший диаметр пильного диска, мм	—	—	—	—	—	400	400
Частота вращения шпинделя, об/мин	63—800	50—630	31,5—400	25—315	16—200	1610	—
Подача пильного диска или отрезных резцов, мм/мин	8—300	8—300	8—300	5—120	5—120	—	—
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	10,5	28,5	28,5	28,5	28,5	3,0	15,0
Габаритные размеры, мм:							
длина	2550	3580	3580	4435	4435	1800	2300
ширина	1875	2130	2130	3220	3220	1280	1810
высота	1640	2133	2133	2500	2500	920	1550
Масса, т	14,4	13,6	14,4	23,0	24,0	1,1	2,06

Примечание. Станки 8Г632, 8Г642, 8Г661, 8Г662, 8Г672 изготовляет Минский станкостроительный завод им. Кирова; станки 8А641А, 8Б672 — Гомельский станкостроительный завод им. Кирова; станок 8Г681 — Минский завод автоматических линий; станки 91А11, 91А15, 91А25, 91А38, 91А53 — Тбилисский станкостроительный завод им. Кирова; станки с абразивными кругами разработаны Научно-производственным объединением «Ритм».

15. Техническая характеристика листогибочных трех- и четырехвалковых машин

Параметр	Трехвалковые								Четырехвалковые				
	И2210	ИА2212	ИА2213	ИА2214	ИА2216	ИА2216Б	ИА2220А	И2220Б	И2222	И2224 //	И2416П	ИА2424	ИБ2424	ИА2426
Наибольшие размеры изгибаемого листа при $\sigma_т = 25$ кгс/мм², мм:														
толщина	1,0	1,6	2,0	2,5	4	4	10	10	16	25	4	25	25	40
ширина	1000	2000	1250	2000	2000	3150	2000	2000	2000	3150	2000	3150	2500	3150
Наименьший радиус изгиба, мм	45	67	67	85	125	130	170	170	220	340	125	340	380	480
Скорость гибки, м/мин	9,5	10,8	10,8	9,5	8,21	12,5	7,65	9,5	8,2	7,0	8,0	5,6	7,5	6,8
Диаметр валков, мм:														
верхнего	60	100	100	135	180	200	230	220	285	500	185	500	500	600
нижнего	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	450	450	550
боковых	—	—	95	125	150	180	205	195	240	420	—	420	—	480
Мощность электродвигателей, кВт	0,8	1,95	1,95	4,4	10,2	11,85	19,6	18,1	22,9	72,5	4,5	123,0	72,0	155,0
Габаритные размеры, мм:														
длина	1720	3500	2452	5580	5500	5000	6530	4330	4000	7650	4000	10 930	7460	10 570
ширина	490	1075	950	4420	4900	4495	5360	1195	1840	2450	1325	3 850	2980	3 900
высота над уровнем пола	1170	980	1015	1380	3150*	1500	3670	1150	1800	2370	1540	2 465	2500	2 545
Масса, т	0,41	1,6	1,45	4,03	5,91	4,5	10,31	—	14,0	54,0	5,56	84,0	53,5	93,0

* Общая высота.

Примечание: 1. Четырехвалковая машина с программным управлением мод. И2416П обеспечивает точность перемещения листа в процессе гибки ±0,5 мм, точность перемещения боковых валков ±0,1 мм, число программируемых операций гибки 5.
2. Машины И2210, ИА2212, ИА2213, ИА2214, ИА2216, ИА2216Б, ИА2220А, И2220Б, И2222, И2416П изготовляет Славгородский завод кузнечно-прессового оборудования им. 8 лет Октября; машину — И2222 — Тираспольский завод литейного машиностроения им. Кирова; машины И2224, ИА2424, ИБ2424, ИА2426 — Рязанский завод тяжелого кузнечно-прессового оборудования.

бокового валка. Приводным является верхний валок, а боковые валки имеют регулировку по высоте. Один конец заготовки сгибается почти полностью, а для получения обечайки с двумя согнутыми концами ее заводят в валки машины дважды. В четырехвалковых машинах (рис. 9, *в*) верхний валок приводной. Гибочными являются два боковых валка. Средний нажимной валок обеспечивает прижим листа к верхнему валку.

На листогибочных машинах с поворотной гибочной балкой осуществляют гибку различных профилей, кромок, замкнутых контуров из листового и полосового материала (табл. 16). Заготовку устанавливают по упору на столе *1* машины и сверху прижимают прижимной траверсой *2* (рис. 10). Вращением поворотной гибочной балки *3* вверх выступающая часть заготовки изгибается по шаблону-вставке *4*, укрепленной в прижимной траверсе. Угол гибки определяется углом поворота балки, а радиус гиба — профилем съемного шаблона. Гибка сложных деталей осуществляется за несколько переходов с соответствующим перемещением заготовки.

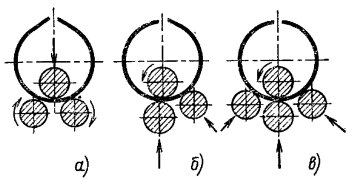


Рис. 9. Схема расположения валков в листогибочной машине

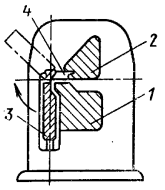


Рис. 10. Схема листогибочной машины с поворотной гибочной балкой

Профилегибочные многовалковые станы служат для изготовления гнутых профилей из ленточного и полосового материала (табл. 17). Процесс профилирования в профилегибочных многовалковых станах заключается в постепенном превращении плоской заготовки в заготовку требуемого профиля при последовательном прохождении полосы или ленты через несколько пар вращающихся валков, каждая из которых имеет соответствующие направляющие ручьи. Профилегибочные станы оснащены рулонницей для размотки рулонов, ножницами для обрезки дефектных концов рулона, сварочной машиной для соединения концов рулонов и прессом для отрезки профиля.

Зигмашины предназначены для гибки кромок, закатки соединений кромок, рельефной формовки и резки тонкостенных листовых деталей (табл. 18). Эти операции осуществляются между двумя вращающимися роликами. Верхний ролик имеет регулировку по высоте, благодаря чему осуществляется начальное деформирование заготовки (рис. 11).

Сортогибочные роликовые машины предназначены для гибки дуг и колец из сортового и фасонного материала (табл. 19). Гибка происходит между тремя сменными фасонными роликами, имеющими ручьи, профиль которых соответствует профилю изгибаемой заготовки. Ролики расположены консольно, и в зависимости от расположения их осей сортогибочные машины разделяют на вертикальные и горизонтальные. Сортогибочные роликовые машины выполняют трехроликовыми симметричными, трехроликовыми асимметричными и четырехроликовыми. В трехроликовых симметричных машинах боковые ролики установлены стационарно, а средний ролик имеет регулировку для создания необходимого усилия гибки и получения требуемого радиуса изгиба. При гибке на этих машинах концы заготовки остаются несогнутыми, поэтому требуется предварительная

16. Техническая характеристика листогибочных машин с поворотной гибочной балкой

Параметр	И2112	И2114	ИБ2114	ИБ2114П	И2116	ИБ2116	ИБ2116П	ИБ2118	ИБ2118П	Переносная с пневматическим приводом
Наибольшие размеры изгибаемого листа при $\sigma_т = 25$ кгс/мм², мм:										
толщина	1,6	2,5	2,5	2,5	4	4	4,0	6,3	6,3	2
ширина	1600	2000	2000	2000	2000	2500	2500	3200	3200	1250
Наибольший угол поворота гибочной балки, градусы	180	120	180	180	120	180	180	180	180	90
Наибольший ход прижимной балки, мм	250	250	250	250	250	400	—	400	400	—
Скорость перемещения прижимной балки, мм/с	45	42	45	55	26	35	45	35	45	—
Наименьший внутренний раднус изгиба при наибольшей толщине листа, мм	—	3,75	—	—	6	—	—	—	—	—
Наименьшая высота отгибаемой кромки при наибольшей толщине листа, мм	—	12,5	—	—	14	—	—	—	—	—
Мощность электродвигателей, кВт	2,2	5,5	—	—	5,5	6,0	—	11	16	Рабочее давление в пневмосети 4 кгс/см²
Габаритные размеры, мм:										
в плане	2500×860	3055×1330	—	3300×1915	3070×1200	4150×1950	—	4985×2060	4885×3960	1535×650
высота над уровнем пола	1790	1550	—	2120	1894	2870	—	2980	3160	1222
Масса, т	2,8	3,3	—	5,0	4,9	9,3	—	14,8	20,3	0,5

Примечание: 1. Машина с программным управлением ИБ2114П обеспечивает скорость перемещения заднего упора 100 мм/с при точности останова ±0,3 мм; наибольший ход заднего упора 620 мм; точность останова гибочной балки ±0,3°; наибольшее число программируемых гибов 12.

2. Машины И2112, И2114, ИБ2114, ИБ2114П, И2116, ИБ2116, ИБ2118 изготовляет Нелидовский завод гидравлических прессов; машины ИБ2116П, ИБ2118П — Пинский завод кузнечно-прессовых автоматических линий; переносная машинас пневматическим приводом разработана Научно-производственным объединением «Ритм».

17. Техническая характеристика профилегибочных многовалковых станов

Параметр	34-120-0-0	20-194-0-0	20-362-0-0	34-198-0-0-1	ПЦ-370-0-0
Тип	Легкий			Средний	Тяжелый
Размеры заготовки, мм:					
толщина	0,3—1,4	0,5—1,75	0,3—1,5	0,5—2,0	0,6—3,0
ширина	20—50	20—110	20—160	30—200	50—370
Наибольшая высота профиля, мм	16	50	50	55	140
Число пар рабочих валков	10	6	10	10	15
Диаметр рабочих валков, мм	40	50	50	50	85
Рабочий диаметр валков, мм	100—103	145—200	145—200	140—190	160—400
Скорость профилирования, м/мин	20; 30	До 60	До 60	16; 32	10; 15; 20; 30
Мощность электродвигателя, кВт	13	11	11	18,9; 27,7	32,4; 39,1
Габаритные размеры, мм:					
длина	4350	3240	5080	5060	12 250
ширина	1150	1360	1360	1930	3 370
высота	1360	1490	1490	1280	1 610

Примечание. Станы разработаны институтом НИИТМ (г. Ростов-на-Дону).

их подгибка на прессе. В трехвалковых асимметричных машинах регулируемыми выполнены боковые ролики, а средний ролик укреплен стационарно (рис. 12). В сортогибочных машинах все рабочие ролики приводные.

18. Техническая характеристика зигмашин

Параметр	И2712А	И2714	И2714А	И2716
Наибольшая толщина обрабатываемого материала (при $\sigma_т = 25$ кгс/мм²), мм	1,6	2,5	2,5	4,0
Вылет, мм	640	400	800	500
Расстояние между осями рабочих валов, мм	100	125	125	160
Наибольший диаметр вырезаемого круга, мм	800	1000	—	1000
Мощность электродвигателя, кВт	1,8	2,3; 3,9	2,3; 3,9	3,8; 6,3
Габаритные размеры, мм:				
в плане	1450×760	1800×1275	1750×810	2050×1715
высота над уровнем пола	1465	1685	1590	1850
Масса, т	0,85	1,4	1,4	2,37

Примечание: 1. Скорость обработки 4; 6; 8 и 12 м/мин.
2. Машины И2712А, И2714, И2714А, И2716 изготовляет Ленинаканский завод кузнечно-прессового оборудования; машины И2714, И2714А, И2716 — Волковысский завод литейного оборудования.

Гибку труб производят на трубогибочных машинах и на станках с индукционным нагревом (табл. 20). В трубогибочных машинах труба зажимается между зажимом и шаблоном и изгибается при вращении шаблона и зажима. В трубо- и профилегибочных станках с индукционным нагревом изгибаемая заготовка

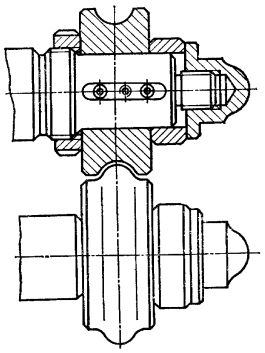


Рис. 11. Ролики зигмашины

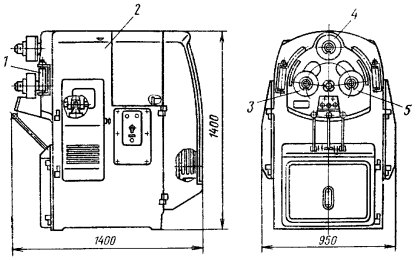


Рис. 12. Сортогибочная трехроликовая машина И3127 с горизонтальными осями роликов:

1 — направляющий ролик; *2* — станина; *3* и *5* — боковые регулируемые ролики; *4* — средний нерегулируемый ролик

проходит индуктор, нагревающий ее на узком участке, и изгибается под действием изгибающего момента, создаваемого гибочным роликом. Трубогибочные машины с индукционным нагревом, работающие на Уралмашзаводе, предназначены: 1) мод. 325 — для диаметра труб 50—219 мм, при толщине стенки до 10 мм, длине до 8000 мм; 2) мод. 625 — для диаметра труб 127—426 мм, при толщине стенки до 25 мм, длине до 12 000 мм.

19. Техническая характеристика сортогибочных трехроликовых машин

Параметр	СССР		ЧССР			
	И3127	И3129	XZP50/7	XZP100/12	XZP120/15	XZP200/20
	С горизонтальными осями роликов				С вертикальными осями роликов	
Тип машины						
Размеры сечения изгибаемого материала и диаметры гибки*, мм:						
наибольший размер уголка полкой наружу	50×50×5	75×75×9	50×50×6	100×100×12	125×125×14	200×200×20
наименьший диаметр гибки	630	450	450	1000	1250	2800
наибольший размер уголка полкой внутрь	45×45×5	—	50×50×6	80×80×10	120×120×12	180×180×14
наименьший диаметр гибки	630	—	900	1500	2500	4000
наибольший размер полосы	100×12	—	100×12	100×40	300×30	560×50
наименьший диаметр гибки	400	—	250	800	950	1000
наибольший размер квадрата	—	—	28×28	55×55	70×70	100×100
наименьший диаметр гибки	—	—	600	900	1250	1500
номер или наибольший размер швеллера	№ 8	—	—	—	220×80×9	400×110×14
наименьший диаметр гибки	600	—	—	—	1400	2800
Диаметр гибочных роликов, мм	200	280	190	340	480	760
Скорость гибки, м/мин	12; 10; 8	10; 8; 6	8,9; 6	10; 6	10; 6	9; 4,5
Мощность электродвигателя привода роликов, кВт	4,3	7,1	2,2/3	12,5	14	27
Габаритные размеры, мм:						
длина	1470	1920	960	1800	3350	5000
ширина	980	1080	1140	1400	2180	4000
высота над уровнем пола	1360	1490	1240	1490	1585	2400
Масса, т	2,04	2,8	1,435	4,6	12,2	31

* При $\sigma_т = 25$ кгс/мм² для машин И3127 и И3129; при $\sigma_в = 40$ кгс/мм² для машины XZP50/7; при $\sigma_в = 50$ кгс/мм² для машин XZP100/12, XZP120/15 и XZP200/20.

Примечание. Отечественное оборудование изготовляет Славгородский завод кузнечно-прессового оборудования им. 8 лет Октября.

20. Техническая характеристика трубогибочных машин

Параметр	ИО622А*1	ИА3528*4	ГСТМ-21М*2	ИБ3428*2	ИВ3528П*3	ИА3430*2	ИВ3530П*3	ИА3432*2	И3534*4
Наружный диаметр изгибаемых труб, мм:									
наибольший	20	60	63	63	63	100	100	160	250
наименьший	6	—	25	—	—	40	—	—	—
Наибольшая толщина стенки трубы, мм	2	4	4	4	4	5	5	6	16
Наибольший угол изгиба, градусы	180	210	210	210	210	210	—	—	200
Наибольший радиус изгиба, мм	150	320	320	320	320	500	500	800	1300
Частота вращения гибочного сектора, об/мин	—	5	2,5; 5	2,5; 5	0,5—5	2; 4	3	—	0,3—1
Мощность электродвигателя, кВт	Максимальный расход воздуха, 45 л/с	10,0	6,1; 7,3	3,8; 6,3	10	10; 14,5	17,0	13,5; 19,5	56,1
Габаритные размеры, мм:									
длина	4355	6780	3760	3680	6050	1830	7900	5700	9260
ширина	1160	1260	1400	1270	1800	4245	2500	2550	4025
высота над уровнем пола	1670	1180	1060	1180	1200	1270	1600	1400	1500
Масса, т	2,3	2,1	1,4	1,5	3,6	3,5	8,0	4,6	21,7

*1 С пневматическим приводом и программным управлением.
*2 С механическим приводом.
*3 С гидравлическим приводом и программным управлением.
*4 С гидравлическим приводом.

Примечание. Машины ИО622А, ИА3528, ИВ3528П, ИВ3530П, ИА3432, И3534 изготовляет Одесское производственное объединение по выпуску кузнечно-прессового оборудования; машины ГСТМ-21М, ИБ3428, ИА3430 — Саранинский завод кузнечно-прессового оборудования.

21. Техническая характеристика листогибочных кривошипных и гидравлических прессов

Параметр	Кривошипные								Гидравлические					
	И1328	И1330	И1330А	И1332	И1332Б	И1334А	И1334Б	И1336	И1430	И1430-УП-7	И1432А	И1432А-УП-7	И1434А	И1434АП
Номинальное усилие, тс	63	100	100	160	160	250	250	400	100	100	160	160	250	250
Ход ползуна, мм	80	80	80	100	100	100	100	120	160—285	160—285	160—285	160—285	200—360	200—360
Число ходов ползуна в минуту	10; 30	10; 30	10; 30	8; 24	8; 24	8; 24	8; 24	6; 18	—	—	—	—	—	—
Скорость хода ползуна, мм/с:														
рабочего	—	—	—	—	—	—	—	—	19	19	14	14	17	17
холостого	—	—	—	—	—	—	—	—	50	50	40	40	32	32
возвратного	—	—	—	—	—	—	—	—	100	100	80	80	80	80
Расстояние от оси ползуна до станины, мм	250	250	250	320	320	320	320	400	250	250	320	320	320	320
Расстояние между стойками в свету, мм	2050	2050	2550	2550	3200	—	3200	—	2050	2050	3200	3200	3200	3200
Наибольшее расстояние между столом и ползуном в его нижнем положении, мм	320	320	320	400	400	—	400	—	500	500	560	560	630	630
Величина регулировки расстояния между столом и ползуном, мм	100	100	100	125	125	—	125	—	125	125	125	125	160	160
Длина стола и ползуна, мм	2550	2550	4050	3400	5050	3400	5050	4050	2550	2550	5050	5050	5050	5050
Ширина стола, мм	160	200	200	250	250	320	320	400	200	200	250	250	320	320
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	7,5	14,5	14,5	14,5	18,5	32	20	40	18,1*2	18,1*2	23,1*2	28,0*2	31,1*2	31,1*2
Габаритные размеры, мм:														
длина	2910	3000	4050	3850	5400	4040	5400	5050	2710	2710	5150	5150	5150	5150
ширина	1575	1820	1820	2250	3850	3320	3700	4000	1480	1480	1820	1820	1985	1985
высота над уровнем пола	2675	2935	3315	4030	3450	4020	5000*1	4700	3150	3150	3635	3635	3775	3775
Масса т	7,4	9,1	10,6	19,4	26,5	34,0	35,4	56,0	10,95	10,95	22,3	23,0	27,9	29,1

*1 Общая высота. *2 Общая мощность электродвигателей.

Примечание: 1. Программное управление гидравлических прессов УП-7 обеспечивает точность регулировки закрытой высоты ±0,1 мм, точность перемещения заднего упора ±0,5 мм, число программируемых гибов до 6.
2. Прессы изготовляет Азовский завод кузнечно-прессового оборудования.

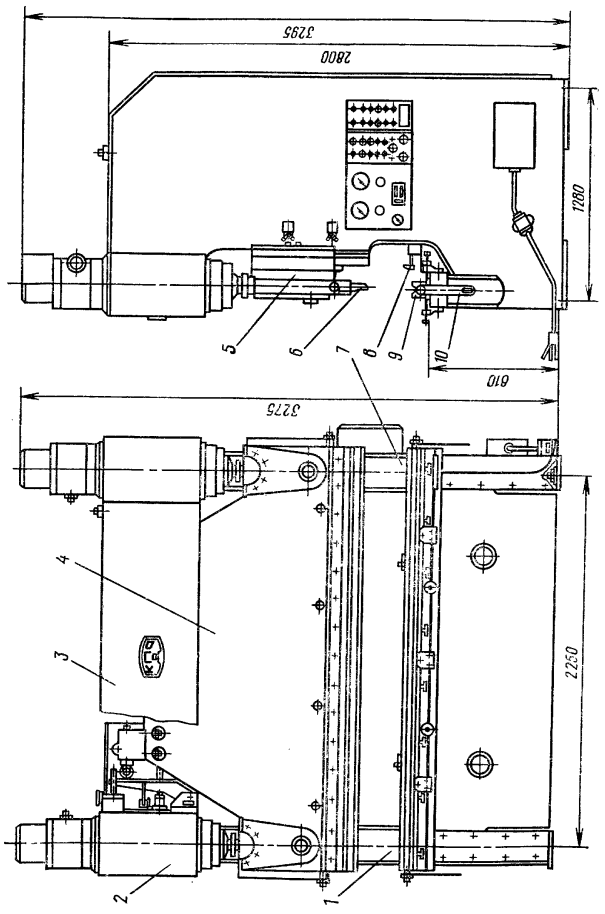


Рис. 13. Листогибочный гидравлический пресс И1430:
1 и *7* — стойки; *2* — гидравлический цилиндр; *3* — траверса; *4* — ползун; *5* — направляющая; *6* — пуансон; *8* — упор; *9* — матрица; *10* — стол

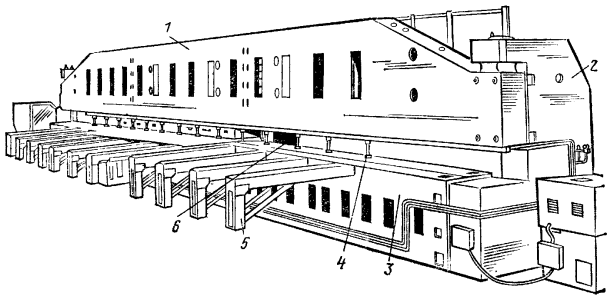


Рис. 14. Кромкострогальный станок 7808:
1 — портал; *2* — стойка портала; *3* — стол; *4* — гидроприжим; *5* — кронштейн; *6* — каретка с суппортами и режущим инструментом

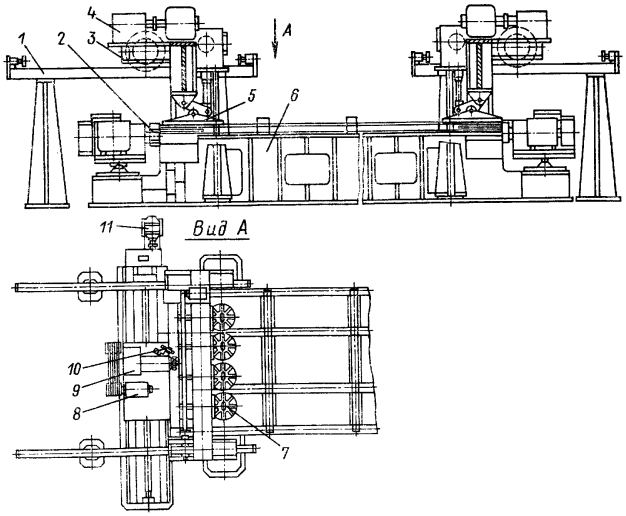


Рис. 15. Станок для кислородной обрезки и фрезерования кромок пакета листов:
1 — рельсовый путь; *2* — фреза; *3* — катучая балка; *4* — привод катучей балки; *5* — прижим; *6* — стол; *7* — пневмоцилиндр; *8* — электродвигатель привода вращения фрезы; *9* — фрезерная головка; *10* — резак; *11* — электродвигатель привода перемещения фрезерной головки и резака

Листогибочные прессы предназначены для гибки различных профилей из листового и полосового материала (табл. 21). На прессах можно производить пробивку отверстий и другие штамповочные операции. Листогибочные прессы разделяют на механические (кривошипные) и гидравлические (рис. 13). В последнее время гидравлические прессы все больше вытесняют кривошипные.

Металлорежущие станки. При изготовлении деталей сварных конструкций металлорежущие станки применяют для сверления отверстий, обработки кромок и поверхностей, резки и зачистки. Кромки обрабатывают при необходимости получения точных размеров деталей по длине и ширине, жестких требованиях к подготовке кромок под сварку, а также в случаях, когда по условиям эксплуатации изделия требуется удаление зоны наклепа после резки на ножницах или зоны закалки после термической резки. Кромки и поверхности обрабатывают на кромкострогальных, продольно-строгальных, поперечно-строгальных, фрезерных и токарно-карусельных станках. Кромкострогальные станки предназначены для строгания кромок листов и фасонного проката. Продольно-строгальные станки (7110, 7210, 7210-6, 7112, 7212, 7116, 7216 и др.) предназначены для строгания кромок листовых заготовок, плоских горизонтальных, вертикальных и наклонных поверхностей, пазов и канавок. Наибольшие размеры деталей: длина 6000 мм, ширина 1600 мм. На поперечно-строгальных станках (7В36, 7Д36, 7Д37 и др.) производят строгание кромок и плоских поверхностей деталей небольших размеров длиной до 1000 мм, шириной до 560 мм. Продольно-фрезерные станки (6610, 6У612, 6У616 и др.) применяют для фрезерования кромок деталей под сварку и их поверхностей. Торцефрезерные станки (ИР-196, 6991) служат для фрезерования торцов деталей из фасонного проката и сварных узлов. Токарно-карусельные станки (1525, 1Л532, 1540 и др.) применяют для обработки кромок цилиндрических обечаек и днищ.

Характеристика металлорежущих станков приведена в работе [8]. Техническая характеристика кромкострогальных станков (рис. 14), изготовляемых Минским станкостроительным заводом им. Октябрьской революции, приведена в табл. 22.

22. Техническая характеристика кромкострогальных станков

Параметр	7808	7814	Параметр	7808	7814
Наибольшие размеры обрабатываемой детали, мм:			Скорость рабочего хода каретки, м/мин	4—40	4—40
длина	8000	14 000	Подача суппортов на один рабочий ход каретки, мм	0,5—6	0,5—6
ширина	2000	2 600	Мощность электродвигателя главного движения, кВт	25	25
высота	200	200	Габаритные размеры, мм:		
Ход каретки, мм	1500—8450	1500—14450	длина	14 150	20 150
Наибольшее перемещение суппортов в направлении, мм:			ширина	4 500	4 500
вертикальном	280	280	высота	3 350	3 350
горизонтальном	200	200	Масса, т	41	53

Примечание. Обработку листов можно производить в пакетах.

Станок для кислородной обрезки и фрезерования поперечных кромок пакета листов высотой до 250 мм, шириной до 2500 мм и длиной до 9480 мм приведен на рис. 15. Станок разработан и внедрен на Ждановском заводе тяжелого машиностроения им. 50-летия Великой Октябрьской социалистической революции.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СБОРКИ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Основным назначением сборочного оборудования является фиксация и закрепление деталей собираемого сварного узла в заданном положении. В боль-

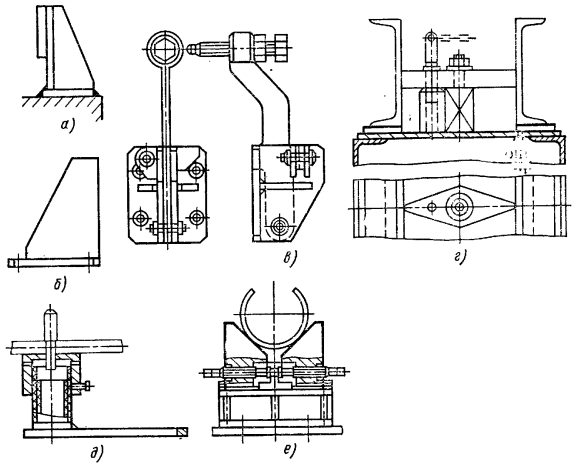


Рис. 16. Упоры и опоры:

а — постоянный упор; *б* — съемный упор; *в* — откидной упор; *г* — поворотный упор; *д* — регулируемая опора; *е* — регулируемая призма

шинстве случаев, сборочное и сборочно-сварочное оборудование (кондукторы, стенды, установки) является специализированным, рассчитанным на изготовление изделий одного типоразмера или группы однотипных изделий. Однако узлы сборочного оборудования (установочные и закрепляющие элементы, поворотные устройства, основания) имеют универсальное значение и используются в различном сборочном оборудовании.

Установочные и закрепляющие элементы сборочного оборудования. Установочные элементы разделяют на упоры, опоры, призмы, фиксаторы, шаблоны и домкраты. Упоры предназначены для фиксации деталей по базовым поверхностям. Откидные, отводные и поворотные упоры используют в случаях, когда постоянный упор затрудняет свободную установку детали или съем свариваемого изделия (рис. 16, *а—г*). Упоры, расположенные

23. Техническая характеристика пневмогидравлических домкратов

Параметр	ДПГ-10	ДПГ-20	ДПГ-50
Рабочее усилие (при давлении воздуха 5 кгс/см²), тс	10	20	50
Ход силового штока, мм	60	100	100
Наибольшее давление жидкости в цилиндре, кгс/см²	650	650	650
Габаритные размеры, мм:			
длина	106	120	132
ширина	130	185	200
высота	430	440	550
Масса, кг	7,5	13,5	24

в горизонтальной плоскости, называют опорами (рис. 16, *д*). Призмы (рис. 16, *е*) применяют для фиксации цилиндрических изделий. Фиксаторы (рис. 17, *а—е*) используют для фиксации деталей по отверстиям и выполняют постоянными, съемными, отводными и откидными. Для быстрого отвода в исходное положение фиксаторы и упоры оснащают пневматическим приводом. Шаблоны применяют для установки деталей в заданное положение по другим, ранее установленным деталям собираемого узла (рис. 17, *ж*). Они могут быть съемными, отвод-

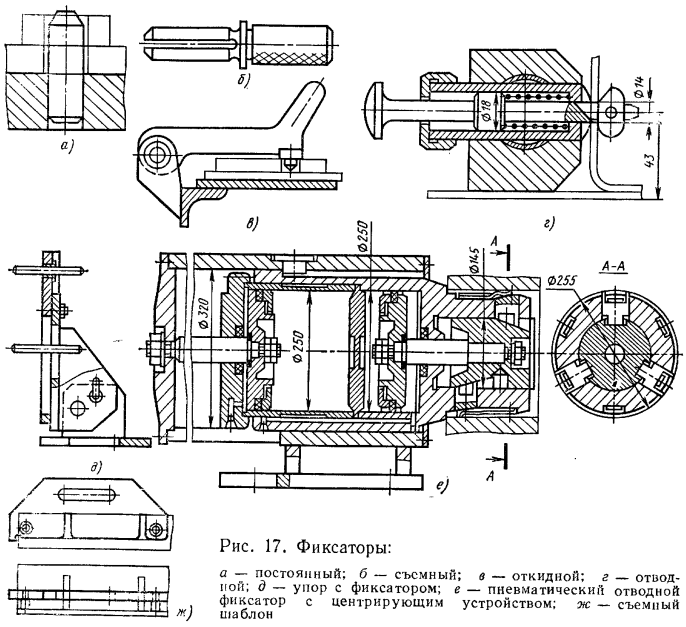


Рис. 17. Фиксаторы:

а — постоянный; *б* — съемный; *в* — откидной; *г* — отводной; *д* — упор с фиксатором; *е* — пневматический отводной фиксатор с центрирующим устройством; *ж* — съемный шаблон

ными или постоянными. Домкраты применяют при необходимости подъема деталей при сборке; часто они служат в качестве прижимных приспособлений.

Закрепляющими элементами являются прижимы. Прижимы могут быть ручные и механизированные. Механизированные прижимы обеспечивают бóльшие прижимные усилия, сокращение трудоемкости сборочных операций, повышение уровня механизации и облегчение условий труда. Ручные прижимы разделяют на клиновые, винтовые, эксцентриковые, рычажные, байонетные, пружинные. По роду привода механизированные прижимы делят на пневматические, гидравлические, пневмогидравлические, электромагнитные, с постоянными магнитами. Образцы прижимов приведены на рис. 18—21. В некоторых случаях прижим объединяют с упором или фиксатором и выполняют в виде комплексного узла. В переналаживаемых и универсально-сборных сборочных устройствах установочные и зажимные элементы изготовляют съемными и регулируемыми.

Переносные сборочные приспособления. К переносным сборочным приспособлениям относят струбцины, стяжки, распорки, домкраты и центрагоры; эти устройства деляг на ручные и механизированные (рис. 22 и 23).

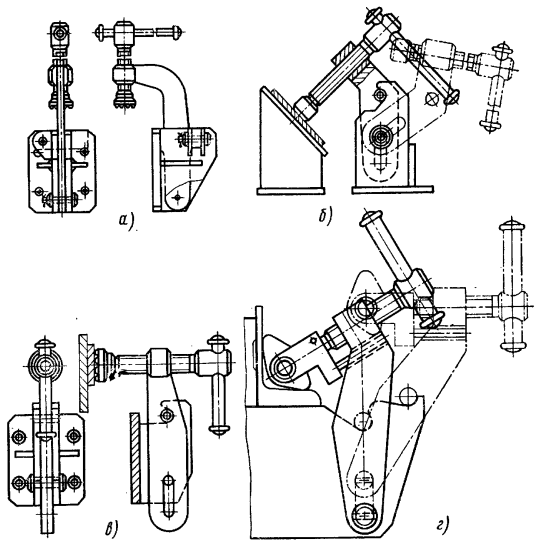


Рис. 18. Винтовые прижимы:

а — вертикальный; *б* — наклонный; *в* — горизонтальный; *г* — с самоустанавливающейся пятой

Пневмогидравлические домкраты (табл. 23) предназначены для перемещения элементов крупногабаритных изделий в процессе их сборки и монтажа. Домкрат представляет собой силовой гидроцилиндр со встроенной насосной станцией, приводимой в действие поршневым пневмодвигателем. Домкрат работает в любых пространственных положениях.

24. Техническая характеристика пневматических домкратов ударно-вращательного действия

Параметр	ДПУ-10	ДПУ-15	ДПУ-20	ДПУ-40
Рабочее усилие при давлении воздуха 5 кгс/см², тс	10	15	20	40
Рабочий ход, мм	60	70	80	100
Габаритные размеры, мм:				
длина	355	355	394	488
ширина	100	110	125	160
высота	155	174	196	270
Масса, кг	6,0	8,5	12,0	27,0

Домкраты ударно-вращательного действия (табл. 24) предназначены для механизации сборочно-сварочных и монтажных работ. Домкрат состоит из пускового механизма ротационного пневматического двигателя, вращательно-импульсного преобразователя и винтового механизма. Вращательно-импульсный

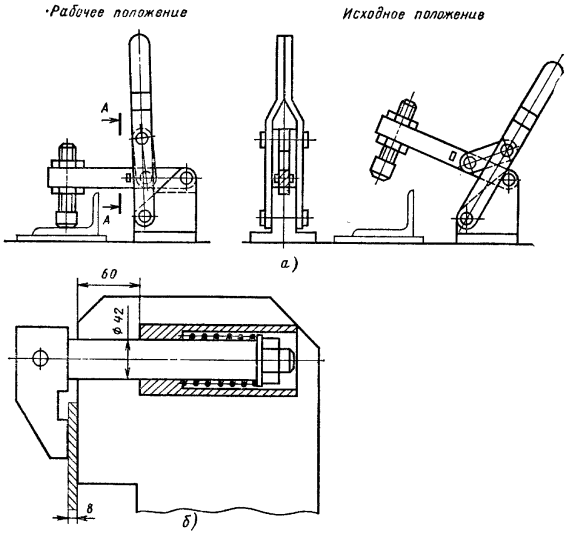


Рис. 19. Прижимы:

а — рычажный; *б* — пружинный

преобразователь преобразует энергию непрерывного вращения двигателя в периодические удары по гайке, обеспечивает выигрыш в силе в 300—400 раз.

Гидравлические домкраты (табл. 25) предназначены для перемещения крупных узлов при сборке и монтаже.

25. Техническая характеристика гидравлических домкратов

Параметр	Грузоподъемность, т	
	25	50
Давление масла в цилиндре, кгс/см²	1200	1500
Ход поршня, мм	80	75
Усилие на рукоятке, кгс	15	25
Масса, кг	17	24,6

26. Техническая характеристика талрепов

Параметр	Стягивающее усилие, тс	
	10	20
Давление масла в цилиндре, кгс/см²	1200	1500
Ход поршня, мм	100	100
Усилие на рукоятке, кгс	22	28
Габаритные размеры, мм:		
длина	540	580
ширина	100	95
Масса, кг	9,8	16,4

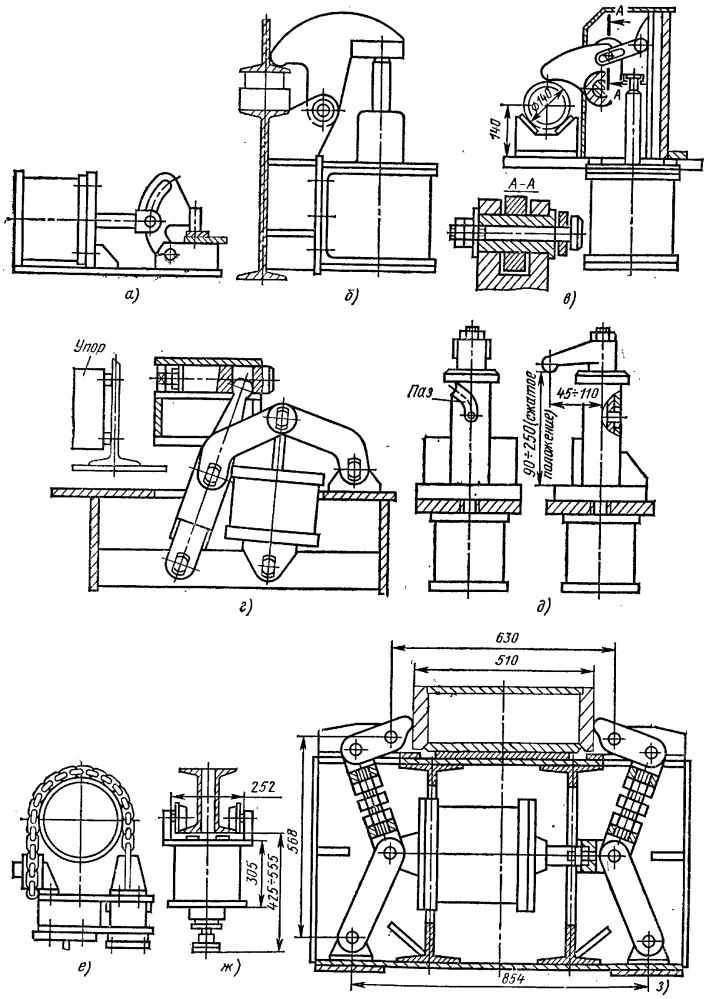


Рис. 20. Прижимы с пневмоцилиндрами:

а—г — рычажные; *д* — байонетный; *е* — цепной; *ж* — передвижной; *з* — пневмозажим

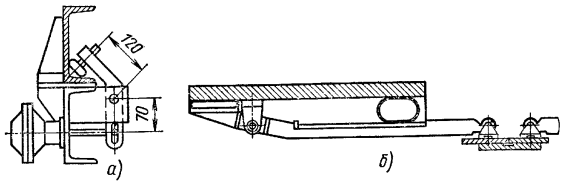


Рис. 21. Пневмоприжимы:

а — с пиевмокамерой; *б* — с пневмошлангом

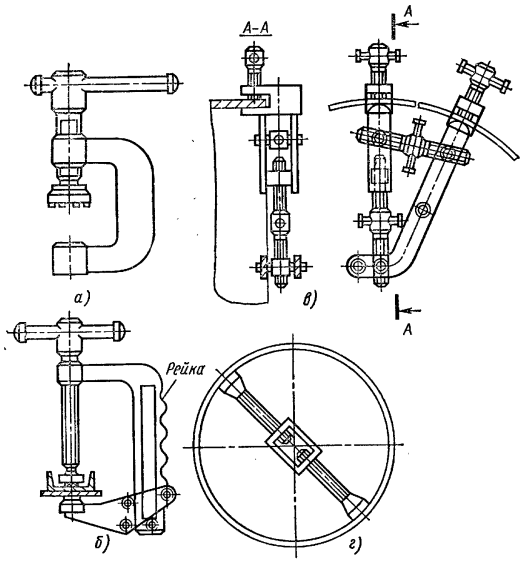


Рис. 22. Переносные ручные сборочные приспособления:

а — винтовая струбцина; *б* — винтовая струбцина с переставным упором; *в* — стяжка для сборки продольного стыка обечайки; *г* — распорка

Гидравлические талрепы предназначены для стягивания или обжатия деталей при сборке и монтаже. Талреп состоит из гидравлического цилиндра с компенсатором объема, поршня со штоком, на конце которого навинчена вилка, и плунжерного насоса высокого давления с предохранителем. Между буртом вилки и корпусом талрепа расположена пружина возврата. Талрепы работают во всех пространственных положениях (табл. 26).

Гидравлический силовой узел-распорка предназначен для подгонки деталей при сборке. Он имеет гидравлический силовой цилиндр и плунжерный насос, который подает масло из масляного бачка в силовой цилиндр. При создании давления поршень-шток передает усилие через опорную пяту на конструкцию. Техническая характеристика узла-распорки следующая:

Грузоподъемность, т	10
Давление масла в цилиндре, кгс/см²	900
Ход поршня, мм	60
Усилие на рукоятке, кгс	25
Длина, мм	385
Масса, кг	5,8

Электромагнитные прижимы (табл. 27) предназначены для прижатия деталей к полотнищам и стыковки полотнищ.

27. Техническая характеристика электромагнитных прижимов

Параметр	СЭП-1000	СЭП-2000
Прижимное усилие, тс	1	2
Напряжение тока, питающего электромагниты, В	65	65
Потребляемая мощность, кВт	0,4	0,8
Габаритные размеры, мм:		
длина	300	300
ширина	200	460
высота	300	500
Масса, кг	14	30

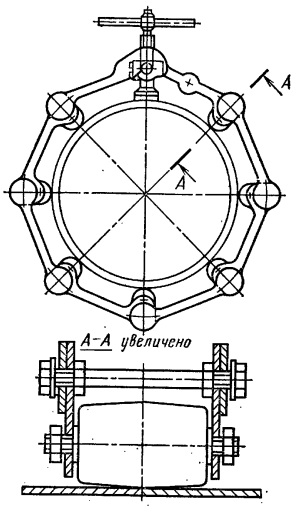


Рис. 23. Центратор для сборки труб

Приведенные конструкции переносных гидравлических, пневматических и магнитных сборочных приспособлений разработаны Научно-производственным объединением «Ритм».

Универсально-сборные приспособления сварочного производства (УСПС). УСПС представляют собой набор нормализованных деталей и узлов, из которых многократно компонуют приспособления для сборки и сварки различных сварных узлов. После изготовления партии сварных узлов приспособление разбирают и детали и узлы используют для компоновки новых приспособлений. УСПС наиболее рациональны в единичном, опытном и мелкосерийном производстве, когда использовать специальное оборудование экономически невыгодно.

По назначению детали и узлы УСПС * разделяют на следующие группы: 1) базовые детали — плиты, балки, полосы, угольники, базовые кольца, являю-

* Универсально-сборные приспособления разработаны Краматорским научно-исследовательским и проектно-технологическим институтом машиностроения, Московским проектно-конструкторским технологическим институтом машиностроения ПКТИмаш, Харьковским межотраслевым головным конструкторско-технологическим бюро ПТО «Союзтехоснастка», Челябинским филиалом института ВНИКТИСтальконструкция, Научно-производственным объединением «Ритм» и др.

щиеся основаниями, на которых размещают все остальные элементы УСПС; 2) корпусные детали — подкладки и опоры, составляющие каркас приспособлений; 3) установочные элементы — упоры, фиксаторы, призмы, опоры, домкраты, предназначенные для фиксации деталей собираемого узла; 4) закрепляющие элементы — прижимы, струбцины, распорки, стяжки, домкраты, прихваты, служащие для закрепления собираемых деталей; 5) установочно-направляющие элементы — шпонки, штыри, втулки, валики, полосы для взаимного фиксирования элементов УСПС; 6) крепежные элементы — болты, винты, шпильки, гайки, шайбы, сухари для закрепления элементов УСПС.

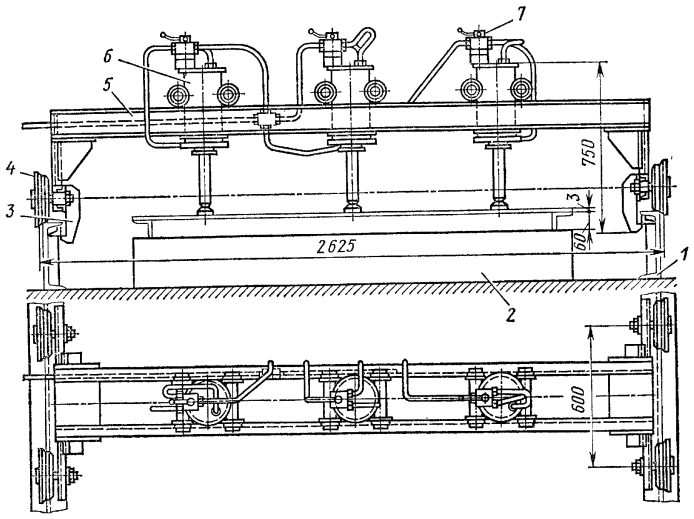


Рис. 24. Катучая балка для сборки плосколистовых конструкций:

1 — направляющая; *2* — стеллаж для собираемого изделия; *3* — захват; *4* — каток; *5* — балка; *6* — передвижной пневмоприжим; *7* — кран управления

В табл. 28 приведена техническая характеристика комплектов УСПС, поставляемых Производственно-техническим объединением Союзтехоснастка. Ряд комплектов УСПС (НПО «Ритм») включают как ручные, так и механизированные прижимные и установочные устройства.

Согласно разработанным ГОСТам рассмотренные приспособления имеют название «Сборно-разборные приспособления» (СРПС). ГОСТы регламентируют конструкции и размеры деталей и сборочных единиц приспособлений с пазами 8 и 12 мм (ГОСТ 17827—72 — ГОСТ 17913—72) и с пазами 16 мм (ГОСТ 17934—72 — ГОСТ 18047—72).

Сборочные кондукторы, стенды и установки. Конструкция этих устройств определяется формой и размерами собираемых изделий, типом и масштабом их производства. Ниже приведены примеры типового оборудования для сборки плосколистовых, балочных и цилиндрических изделий в мелкосерийном и серийном производстве.

28. Техническая характеристика комплектов УСПС

Параметр	Модификация комплекта			
	УСПС-8	УСПС-12/1	УСПС-12/2	УСПС-12/3
Ширина паза и диаметр крепежных болтов, мм	8	12	12	12
Конструкция основания комплекта	Полосы и уголки	Плиты	Полосы и уголки	Базовые кольца
Назначение — сборка	Изделий различных конструктивных форм размерами до 800×300×150 мм	Каркасных, рамных, балочных изделий размерами до 2000×1000×800 мм	Плоских и решетчатых изделий размерами до 1500×800×800 мм	Цилиндрических изделий диаметром до 1200 мм, высотой до 1000 мм
Число деталей и узлов в комплекте	2200	3000	2750	2600
Число наименований деталей и узлов в комплекте	110	110	100	100
Среднее время сборки одного приспособления, ч	1,5	4,0	3,0	4,0
Наибольшая масса собираемых изделий, кг	50	500	300	500
Точность сборки, обеспечиваемая приспособлением, мм	0,2—0,3	0,3—0,5	0,3—0,5	0,3—0,5
Размер партии собираемых узлов, шт.	15—40	10—40	10—40	10—40
Число одновременно собираемых приспособлений	6—8	4—6	4—6	4—6

Параметр	Модификация комплекта			
	УСПС-16/1	УСПС-16/2	УСПС-16/3	УСПС-16/4
Ширина паза и диаметр крепежных болтов, мм	16	16	16	16
Конструкция основания комплекта	Плиты	Плиты	Балки	Базовые кольца
Назначение — сборка	Жестких изделий размером от 2000×600×600 мм до 5000×2000×1500 мм	Жестких изделий размерами от 1000×500×300 мм до 3000×1500×1000 мм	Плоских и решетчатых изделий размерами от 2000×600 мм до 5000×1200×1000 мм	Цилиндрических изделий диаметром от 1000 мм до 2800 мм и высотой до 1500 мм
Число деталей и узлов в комплекте	3400	3170	3100	3000
Число наименований деталей и узлов в комплекте	300	280	280	270
Среднее время сборки одного приспособления, ч	8,0	6,0	7,0	8,0
Наибольшая масса собираемых изделий, кг	2500	2000	1000	2000
Точность сборки, обеспечиваемая приспособлением, мм	0,3—0,8	0,3—0,8	0,3—0,8	0,3—0,8
Размер партии собираемых узлов, шт.	5—20	5—20	5—20	5—20
Число одновременно собираемых приспособлений	2—4	2—4	2—4	2—4

Сборку плосколистовых конструкций производят на электромагнитных стендах и на стендах с передвижными (катучими) балками. Электромагнитные стенды рассмотрены ниже. Стенды с передвижными (катучими) балками (рис. 24) применяют для сборки листовых полотнищ встык и внахлестку, для установки ребер, накладок и других деталей на листы, для сборки каркасов с листами. Стенды представляют собой стеллажи *2* с направляющими *1*, по которым передвигается катучая балка *5*. На балке установлены один или несколько передвижных прижимов *6* с пневмоцилиндрами. Для предотвращения подъема балки во время прижатия имеются захваты *3*.

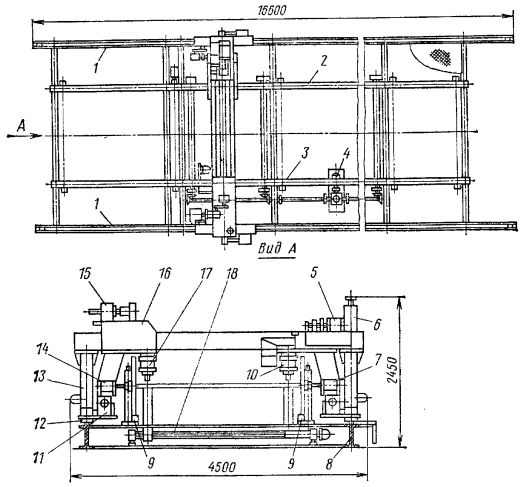


Рис. 25. Установка для сборки двутавровых балок:

1 — рельсовый путь портала; *2* — передвижная опора; *3* — неподвижная опора; *4* — привод передвижения опоры; *5* — привод каретки; *6* и *15* — гидроусилители; *7* и *14* — горизонтальные прижимы; *8* — рама; *9* — регулируемый упор; *10* и *17* — вертикальные прижимы; *11* — привод портала; *12* — захват; *13* — портал; *16* — каретка; *18* — ходовой винт

Двутавровые и коробчатые балки собирают в кондукторах, а при большой длине балок и их многономенклатурном выпуске — на установках с передвижными порталами. Установка с передвижным порталом для сборки двутавровых балок изображена на рис. 25. На раме *8* установки смонтированы опоры *2* и *3*, на которые укладывают вертикальную стенку собираемой балки. Опора *2* выполнена регулируемой и до сборки установлена по размеру высоты собираемой балки. Горизонтальные пояса балки укладывают на регулируемые по высоте упоры *9*, закрепленные на опорах *2* и *3*. Пояса прижимаются к стенке пневмогидравлическими прижимами, размещенными на портале *13*, который перемещается по рельсовому пути *1*. Прижимы *7* и *10* установлены стационарно, а прижимы *14* и *17* размещены на каретке *16*, перемещаемой в зависимости от высоты собираемой балки с помощью привода *5*. После прижима элементов балок производят прихватку, затем прижимы отводят, портал передвигают к местам для

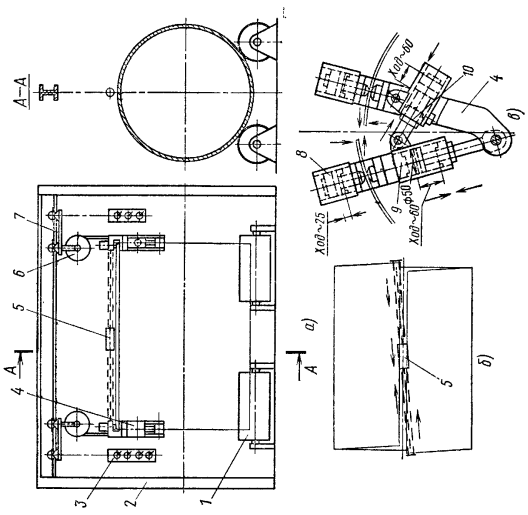


Рис. 27. Установка для сборки продольных стыков обечаек:

а — общий вид; *б* — схема стяжки торцов; *в* — схема стяжки кромок; *1* — роликовая опора; *2* — несущая рама; *3* — пульт управления; *4* — гидравлическая струбцина для совмещения кромок обечаек; *5* — гидравлическая стяжка для выравнивания торцов обечаек; *6* — пружинная подвеска струбцин; *7* — тележка; *8* — *10* — гидроцилиндры

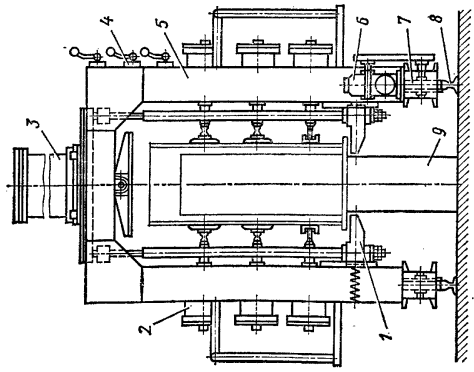


Рис. 26. Портал для сборки коробчатых балок:

1 — захват; *2* — горизонтальный прижим; *3* — вертикальный прижим; *4* — кран управления; *5* — рама; *6* — привод перемещения портала; *7* — каток; *8* — рельсовый путь; *9* — стеллаж

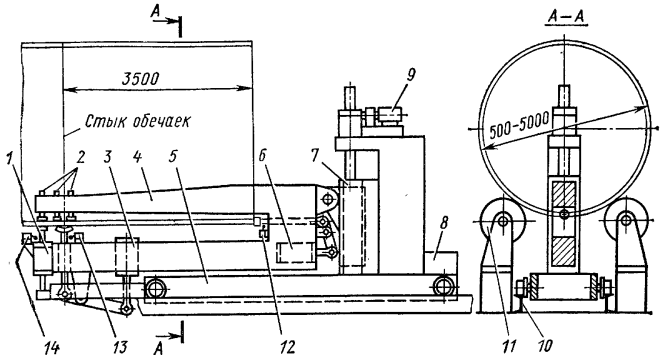


Рис. 28. Установка для сборки обечаек по кольцевым стыкам:

1, 3, 6 — пневмоцилиндры; *2* — винтовые упоры; *4* — скоба; *5* — тележка; *7* — направляющая вертикального перемещения скобы; *8* — привод перемещения тележки; *9* — привод вертикального перемещения скобы; *10* — рельсовый путь; *11* — роликовый стенд; *12—14* — конечные выключатели

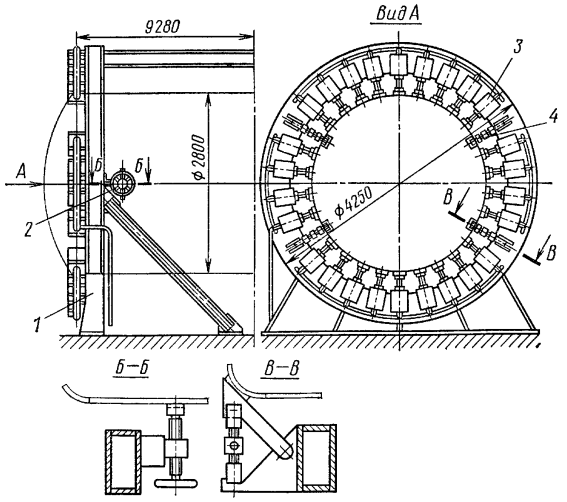


Рис. 29. Установка для сборки обечаек с днищами:

1 — центратор; *2* — боковой прижим; *3* — радиальный пневмоприжим; *4* — торцовый прижим

следующих прихваток, и цикл повторяется. На рис. 26 изображен самоходный портал, предназначенный для сборки коробчатых балок.

Продольные стыки цилиндрических обечаек собирают (рис. 27) с помощью гидравлических струбцин *4*, снабженных двумя зажимными гидроцилиндрами *8*, одним выравнивающим *9* и одним стягивающим *10*. Сборку обечаек по кольцевым стыкам (рис. 28) производят с помощью самоходной скобы *4*, оснащенной передним прижимом с пневмоцилиндром *1* для закрепления левой обечайки, средним прижимом с пневмоцилиндром *3* для совмещения кромок обечаек и задним прижимом с пневмоцилиндром *6* для прижима правой обечайки к левой. Для сборки толстостенных обечаек используют гидравлические прижимы. Установка для сборки обечаек с днищами встык (рис. 29) имеет два центратора *1*, связанные продольной балкой. Обечайку укладывают на роликоопоры, расположенные между центраторами, и закрепляют боковыми прижимами *2*; подводят днище и прижимают его к обечайке торцовыми прижимами *4*, затем секциями включают пневмоприжимы *3* и производят прихватку стыка.

МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

К механическому оборудованию сварочного производства относится оборудование для установки и перемещения свариваемых изделий; для установки и перемещения сварочных аппаратов и перемещения сварщиков; для уплотнения стыков; для сбора и подачи флюса в зону сварки. К этому оборудованию может быть также отнесено сборочное, отделочное и подъемно-транспортное оборудование.

Оборудование для установки и перемещения свариваемых изделий. Оборудование применяют при ручной, полуавтоматической, автоматической, электрошлаковой и контактной сварке, при наплавке, термической резке, сборке сварных узлов, отделке, при выполнении контрольных операций. Оборудование служит для установки и перемещения изделий в наиболее удобное для выполнения технологической операции положение и обеспечивает одно, два или три рабочих движений свариваемых изделий. Такими движениями являются вращение; вращение и наклон; вращение и подъем; вращение, наклон и подъем; горизонтальное линейное перемещение свариваемого изделия. По скорости перемещения свариваемых изделий оборудование разделяют на устройства со сварочной регулируемой скоростью и с установочной нерегулируемой скоростью. Оборудование имеет механизированный привод. Ручной привод находит применение в устройствах для перемещения малогабаритных сварных узлов. Основные типы оборудования для установки свариваемых изделий — манипуляторы, вращатели, кантователи, роликовые стенды, перемещающиеся столы.

Манипуляторы предназначены для установки (наклона) изделий в положение, удобное для сварки и вращения их со сварочной скоростью при автоматической, полуавтоматической или ручной сварке круговых швов и наплавке цилиндрических и конических поверхностей (табл. 29). В некоторых конструкциях предусмотрен также подъем изделий, что позволяет сваривать крупные изделия без установки манипулятора на подставки и без приямков. Манипуляторы обеспечивают вращение изделий на 360°, наибольший угол наклона изделий в зависимости от конструктивного исполнения манипулятора составляет 90—360°. Наибольшее применение находят манипуляторы с зубчатым сектором, обеспечивающие наклон изделий на угол до 135° (рис. 30). Для изделий большой массы используют манипуляторы с зубчатым сектором, обеспечивающие угол наклона до 90°. При необходимости наклона изделий на угол более чем 135° применяют консольные манипуляторы (для легких изделий) и манипуляторы двухстоечного типа, позволяющие вращать и наклонять изделия на угол 360° [3]. Привод для наклона изделия имеет постоянную установочную скорость, и лишь для сварки меридиональных швов привод наклона выполнен с возможностью регулирования

29. Техническая характеристика манипуляторов

Параметр	М11020	М-0,12	М11030	М11050	Т-25М	М-1
Грузоподъемность, т	0,063	0,12	0,125	0,5	1,0	1,0
Допустимый момент, кгс·м:						
относительно опорной плоскости планшайбы	10	25	25	160	—	400
на оси вращения планшайбы	6,3	16	16	100	400	250
Диаметр свариваемых круговых швов, мм	125—630	80—800	160—800	250—1250	250—900	300—1700
Наибольшие размеры свариваемых изделий, мм	—	1200×1200×900	—	1500×1500×900	900×900×1000	1400×1400×1000
Наибольший угол наклона планшайбы, градусы	135	135	135	135	90	135
Частота вращения планшайбы, об/мин	0,1—5	0,1—2,5	0,08—4	0,05—2,5	0,14—0,66*1	0,04—1,01
Мощность электродвигателей привода, кВт:						
вращения планшайбы	—	0,25	0,18	1,0	0,6	1,5
наклона стола	Ручной	0,8	0,4	0,8	1,0	1,7
Габаритные размеры, мм:						
длина	710	1090	1100	1310	1200	1690
ширина	860	1190	815	1260	1200	1550
высота	630	800	755	950	860	950
Масса, т	0,115	0,86	0,45	0,82	1,53	1,755

Продолжение табл. 29

Параметр	М-2	М11070	УСМ-5000*2	У-191*3	У-117*3	Позиционер*5
Грузоподъемность, т	2,0	2,0	5,0	16	50	15
Допустимый момент, кгс·м:						
относительно опорной плоскости планшайбы	700	1000	1000	20 000*4	100 000*4	22 500
на оси вращения планшайбы	600	630	3500	6400	15 000	4500
Диаметр свариваемых круговых швов, мм	500—2000	До 2000	200—3500	—	—	—
Наибольшие размеры свариваемых изделий, мм	2000×2000×1200	1800×1800×1000	3500×3500×1500	Диаметр 4000, высота 3000, 105 (в одну сторону), 15 (в другую сторону)	Диаметр 7000, высота 4000, 100 (в одну сторону), 15 (в другую сторону)	3900×3900
Наибольший угол наклона планшайбы, градусы	135	135	135			135
Частота вращения планшайбы, об/мин	0,0357—0,892	0,032—1,6	0,0264—0,965	0,0265—0,262	0,0096—0,237	0,77
Мощность электродвигателей привода, кВт:						
вращения планшайбы	3,2	4,5	2,2	—	—	7
наклона стола	2,8	2,0	6,4	—	—	14
Габаритные размеры, мм:						
длина	1880	1610	2820	3300	8000	4394
ширина	1855	1500	1790	3150	8000	4960
высота	1240	1190	1330	2515	5480	2455
Масса, т	2,7	1,985	5,38	20	100	22,83

*1 Ступенчатое регулирование.
*2 С подъемным столом.
*3 Разработаны ИЭС им. Е. О. Патона.
*4 Момент на оси наклона стола.
*5 Разработан Уралмашзаводом.

Примечание: 1. Серийные манипуляторы по заказу потребителей поставляются в модификации позиционеров с маршевой скоростью вращения планшайбы.
2. Манипулятор М11020 изготовляет экспериментальный завод ВИСПа; манипуляторы М-0,12, М11030, М11050, М-1, М-2, М11070 — Ильницкий опытный завод механического сварочного оборудования; манипулятор Т-25М — Ленинградский центральный ремонтно-механический завод Ленгорисполкома; манипулятор УСМ-5000 — Старо-Краматорский машиностроительный завод им. Орджоникидзе.

сварочной скорости. Регулирование частоты вращения планшайбы для обеспечения необходимой сварочной скорости в современных конструкциях манипуляторов осуществляется бесступенчато путем изменения частоты вращения вала электродвигателя постоянного тока. Манипулятор, позиционер, вращатель и кантователь выбирают по трем параметрам свариваемых изделий: по массе Q и расстояниям L от центра тяжести изделий до оси вращения и H до плоскости планшайбы. Моменты $M_1 = QL$ относительно оси вращения и $M_2 = QH$ относительно плоскости планшайбы не должны превышать наибольших моментов, приведенных в паспортах или в типаже манипуляторов. При применении приспособлений для закрепления свариваемых изделий массу Q необходимо принимать с учетом массы приспособления, а в величине H должна быть учтена высота приспособления.

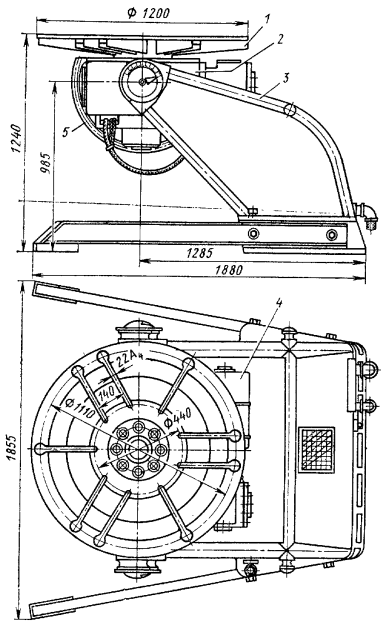


Рис. 30. Манипулятор М-2:

1 — планшайба; *2* — стол; *3* — корпус; *4* — привод вращения планшайбы; *5* — зубчатый сектор механизма наклона стола

Манипуляторы с нерегулируемой (установочной) скоростью вращения (позиционеры) предназначены для установки изделий в удобное для сварки положение, их применяют при ручной, полуавтоматической и автоматической сварке рамных и корпусных конструкций. Они также обеспечивают наклон и вращение изделий или наклон, вращение и подъем. Серийные конструкции манипуляторов и позиционеров унифицированы. При этом позиционеры являются модификацией манипуляторов, отличающейся приводом вращения планшайбы.

Вращатели предназначены для вращения изделий вокруг одной оси со сварочной регулируемой скоростью или с установочной нерегулируемой скоростью (табл. 30). Они отличаются от манипуляторов тем, что не имеют механизма наклона изделий и поэтому менее универсальны, но вместе с тем проще и дешевле манипуляторов. Вращатели используют для автоматической, полуавтоматической и ручной сварки круговых швов, наплавки цилиндрических и конических поверхностей, контактной сварки и термической резки в случаях, когда не требуется изменять положение оси вращения изделия. В зависимости от расположения оси вращения вращатели разделяют на вертикальные, горизонтальные (рис. 31) и наклонные. Вращатели с установочной скоростью вращения и горизонтальной осью называют кантователями, а с вертикальной осью — поворотными столами.

Кантователи предназначены для поворота и установки изделий в удобное положение при сборке, сварке и отделке. В большинстве случаев кантователи

30. Техническая характеристика вращателей

Параметр	Горизонтальные вращатели			Вертикальные вращатели		
	М31030	М31050	М31070	М21030	М21050	М21070
Грузоподъемность, кг	250	1000	4000	250	1000	4000
Допустимый момент на оси вращения, кгс·м	16	100	630	16	100	630
Допустимый момент центра тяжести изделия относительно опорной поверхности планшайбы при использовании одной передней стойки, кгс·м	25	160	1000	—	—	—
Диаметр свариваемых круговых швов, мм	60—800	100—1350	500—2500	60—800	100—2000	500—2500
Наибольшие размеры свариваемых изделий, мм:						
длина	2500	4000	6300	Диаметр до 800	Диаметр до 2000	Диаметр до 2500
диаметр	1000	1350	2200	—	—	—
Высота центров, мм	800	1000	1250	—	—	—
Частота вращения, об/мин	0,08—4,0	0,05—2,5	0,032—1,6	0,08—4,0	0,06—2,5	0,032—1,6
Ход пиноли задней стойки, мм	80	170	170	—	—	—
Мощность электродвигателя, кВт	0,18	1,0	4,5	0,18	1,0	4,5
Габаритные размеры, мм:						
длина	3600	6062	9100	1000	1000	1260
ширина	1250	1600	2000	1000	1000	1260
высота	1425	1800	2250	450	630	1000
Масса, т	0,633	1,979	3,893	0,295	0,55	1,255

Примечание: 1. Горизонтальные вращатели по заказу потребителей поставляются в модификации двухстоечных кантователей с маршевой скоростью вращения планшайбы.

2. Изготовитель — Ильницкий опытный завод механического сварочного оборудования.

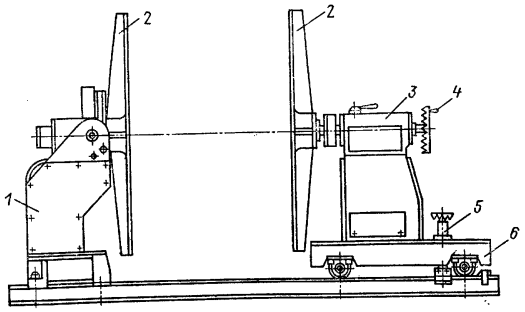


Рис. 31. Двухстоечный вращатель с горизонтальной осью вращения:

1 — передняя приводная стойка; *2* — планшайба; *3* — задняя стойка; *4* — механизм выдвижения пиноли; *5* — стопор тележки; *6* — тележка

обеспечивают одно движение с установочной скоростью: вращение или наклон. Однако имеются конструкции кантователей, обеспечивающих два движения. Вторым движением может быть подъем или линейное перемещение изделия.

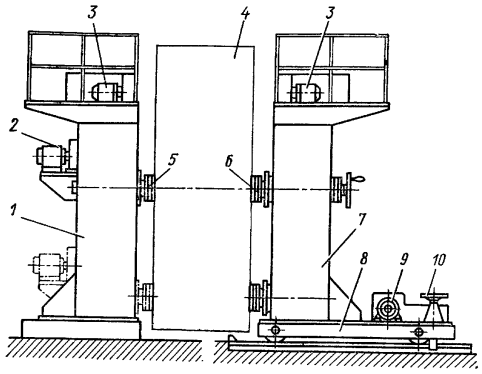


Рис. 32. Двухстоечный кантователь с подъемными центрами:

1 — передняя приводная стойка; *2* — привод вращения; *3* — привод подъема центров; *4* — свариваемое изделие; *5* и *6* — центры; *7* — задняя стойка; *8* — тележка; *9* — привод тележки; *10* — стопор тележки

По конструктивному исполнению кантователи разделяют на двухстоечные, одностоечные, цепные, рычажные, кольцевые и домкратные. Двухстоечные кантователи имеют приводную и холостую стойки и предназначены для поворота балочных, рамных и корпусных конструкций. Серийные двухстоечные кантователи унифицированы с горизонтальными вращателями и являются их модификацией с установочной скоростью вращения. Для крупных рам применяют двухстоечные

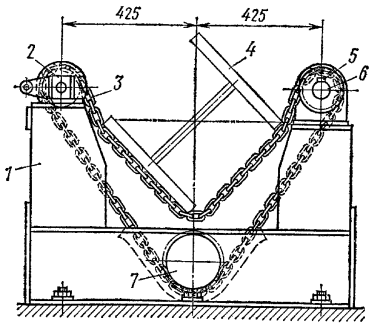


Рис. 33. Стойка цепного кантователя:

1 — стойка; *2* и *7* — холостые звездочки; *3* — цепь; *4* — свариваемая балка; *5* — приводная звездочка; *6* — приводной вал кантователя

кантователи с подъемными центрами (рис. 32), позволяющие производить сварку швов с пола. Одностоечные кантователи представляют собой приводную стойку двухстоечного кантователя; их применяют для поворота компактных относительно небольших изделий. Цепные кантователи (рис. 33) предназначены для кантовки длинных балочных и решетчатых конструкций с сечением, близким к квадрату. Рычажный кантователь для балок (рис. 34) служит для кантовки длинных балочных конструкций с компактным сечением, близким к квадрату. Кантователь позволяет укладывать балку на жесткие опоры *1* для автоматической сварки «в лодочку». Рычажный кантователь для полотнищ (рис. 35) после захвата полотнища (рис. 35, *а*) поворачивает полотнище на 90° (рис. 35, *б*), затем перемещается

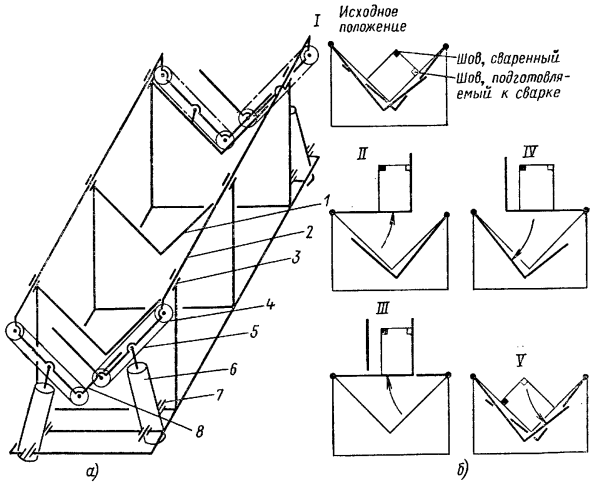


Рис. 34. Рычажный кантователь для балок:

а — устройство; *б* — схема работы; *1* — опора; *2* — вал; *3* — подшипник; *4* — звездочка; *5* — цепь; *6* — гидроцилиндр; *7* — цапфа; *8* — рычаги; *I* — *V* — положения балки при кантовке

в сторону, противоположную направлению поворота (рис. 35, *в*), после чего полотнище поворачивается снова на 90° (рис. 35, *г*) и укладывается на исходную позицию. Кольцевые кантователи (рис. 36) предназначены для кантовки крупногабаритных объемных конструкций, а также длинных балок. Домкратные кантователи (рис. 37) предназначены для поворота плоских рам на 90° в обе стороны.

Роликовые стенды предназначены для вращения цилиндрических и конических изделий со сварочной (регулируемой) или с установочной скоростью. Стенды с регулируемой скоростью применяют для автоматической или электрошлаковой сварки круговых швов. Стенды с установочной скоростью используют при сборке, сварке, отделке, контроле и испытаниях. Роликовые стенды исполняют на общей раме (рис. 38); стенды могут быть также секционными, состоящими из отдельных роликовых опор (рис. 39) или из приводной и холостых роликовых опорных секций. Типовые роликовые стенды имеют следующую техническую характеристику.

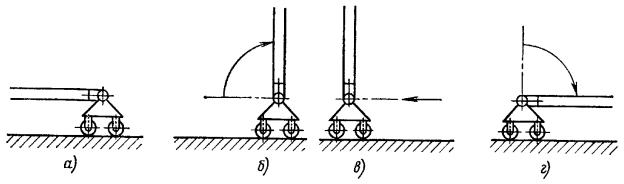


Рис. 35. Рычажный передвижной кантователь для полотнищ:

а — захват полотнища; *б* — поворот на 90°; *в* — передвижение кантователя с полотнищем; *г* — окончательный поворот полотнища на 90°

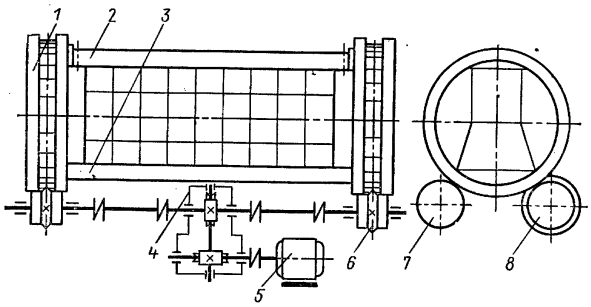


Рис. 36. Кольцевой кантователь:

1 — цевочное кольцо; *2* — верхняя съемная часть кондуктора; *3* — кондуктор; *4* — редуктор; *5* — электродвигатель; *6* — звездочка; *7* и *8* — холостая и приводная роликовые опоры соответственно

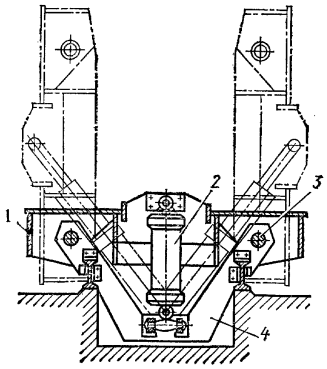


Рис. 37. Кантователь с гидродомкратами для поворота рам (поворот на 90° в обе стороны):

1 — поворотная рама; *2* — гидравлический домкрат; *3* — выдвижная полуось; *4* — основание

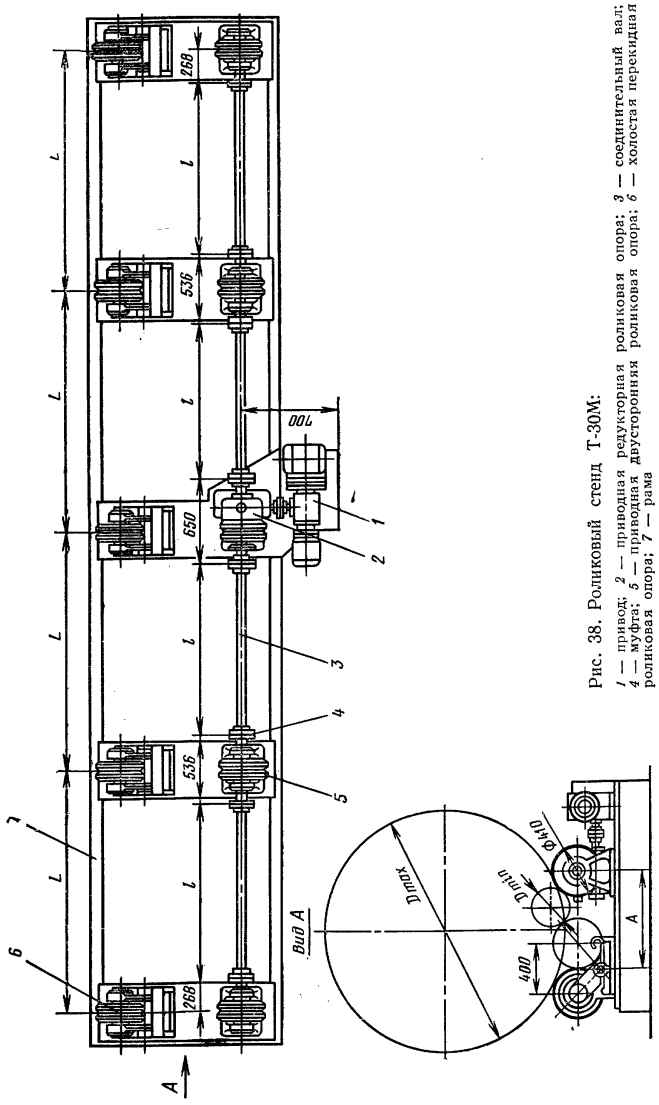


Рис. 38. Роликовый стенд Т-30М:

1 — привод; *2* — приводная редукторная роликовая опора; *3* — соединительный вал; *4* — муфта; *5* — приводная двусторонняя роликовая опора; *6* — холостая перекидная роликовая опора; *7* — рама

Роликовый стенд мод. 30М:

Грузоподъемность, т	12
Допустимая нагрузка на одну роликовую опору, кгс	1300
Скорость вращения изделий:	
при сварке, м/ч	12—90
маршевая	800
Диаметр, мм:	
свариваемых изделий	300—4000
роликов	410
Мощность электродвигателей привода, кВт:	
сварочной скорости	0,85
маршевой скорости	3,2
Габаритные размеры узлов стенда (длина × ширина × высота), мм:	
привода	1080×415×390
роликовой опоры:	
Т5-5А редукторной	654×591×510
Т5-2А приводной	520×410×510
Т5-3А приводной	680×410×510
холостой перекидной	420×700×510
шкафа управления	780×505×685
Масса стенда, т	1,78

Стенд изготовляет Ильницкий опытный завод механического сварочного оборудования

Роликовый стенд тяжелого типа (см. рис. 39):

Грузоподъемность, т	15; 30; 60	Габаритные размеры роликовых опор, мм:	
Скорость вращения изделий:		длина	800
при сварке, м/ч	8—130	ширина	900
маршевая	130	высота	1200
Диаметр, мм:		Масса роликовой опоры, т:	
свариваемых изделий	120—6000	приводной	1,1
роликов	510	холостой	0,865
Мощность электродвигателя, кВт	2,1	холостой передвижной	0,98

Стенд изготовляет завод «Металлист» ВПТИтяжмаша по отдельным заказам.

Типовые роликовые стенды монтируют из типовых узлов: приводных и холостых роликовых опор, привода и шкафа управления. Компоновку стенда,

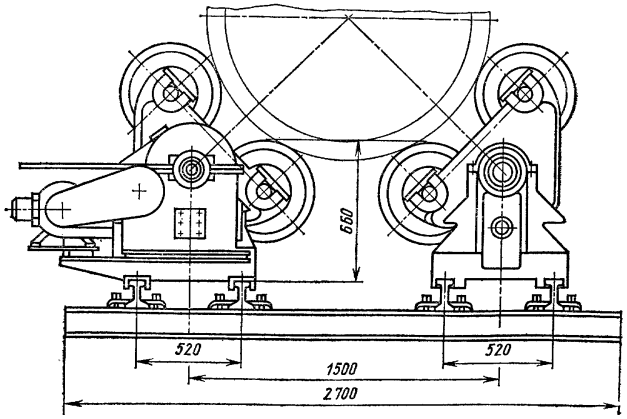


Рис. 39. Роликовый стенд с балансирными роликоопорами

число и расстояние между опорами устанавливают в зависимости от массы, диаметра, длины и расположения центра тяжести свариваемых изделий.

Перемещающиеся столы предназначены для линейного перемещения изделия при контактной сварке. Конструкция столов зависит от параметров свариваемых изделий и типа контактной машины [17].

Наряду с рассмотренным оборудованием, обеспечивающим перемещение свариваемых изделий, используют устройства и приспособления для размещения, закрепления и поддерживания свариваемых изделий в процессе сборки и сварки (стеллажи, плиты, столы, прижимы, поддерживающие ролики и др.). Выпускаемые столы предназначены для ручной, полуавтоматической сварки и сборки мелких сварных изделий. Столы служат для размещения свариваемых изделий, отсоса газов и пыли, образующихся при сварке, хранения инструментов и электродов (табл. 31).

31. Техническая характеристика неповоротных столов

Параметр	ССН-1	ССН-2	ССН-3	Параметр	ССН-1	ССН-2	ССН-3
Размеры рабочей поверхности стола, мм:				Мощность электродвигателя вентилятора, кВт	0,8	Газоотсос подсоединен к общей вентиляционной системе цеха	0,8
длина	800	800	1250				
ширина	500	500	700				
Наибольшие размеры свариваемых изделий, мм:							
длина	1000	1000	1000	Габаритные размеры, мм:			
ширина	500	500	500	длина	800	800	1395
высота	600	600	600	ширина	850	850	850
Наибольшая масса свариваемых изделий, кг	60	60	80	высота	1370	1370	1470
				Масса, кг	210	173	308

Примечание. Высота рабочей поверхности стола над уровнем пола 700 мм.

Оборудование для установки и перемещения сварочных аппаратов и перемещения сварщиков. К оборудованию этого вида относятся колонны, тележки, площадки для сварщиков.

Колонны служат для установки и перемещения сварочных аппаратов при автоматической и полуавтоматической сварке.

Колонны для автоматической сварки (рис. 40) представляют собой стойку, по которой в вертикальном направлении перемещается каретка с консолью. Колонны с выдвижной консолью (рис. 40, *а*) обеспечивают вертикальное и горизонтальное перемещение сварочного аппарата. Эти колонны оснащены несамоходными (подвесными) сварочными аппаратами, которые укреплены на конце консоли. Колонны с выдвижной консолью выполнены с установочной (нерегулируемой) или со сварочной (регулируемой) скоростью горизонтального перемещения консоли. В первом случае колонны служат для сварки кольцевых швов; их используют в сочетании со сварочными манипуляторами, вращателями или роликовыми стендами, обеспечивающими вращение изделий со сварочной скоростью; во втором случае колонны используют для сварки прямолинейных и кольцевых швов. Колонны с невыдвижной консолью (рис. 40, *б*) оснащены самоходными сварочными аппаратами, которые перемещаются по консоли при сварке прямолинейных швов. Колонны для сварки крупногабаритных изделий оборудуют балконом для размещения сварщика и сварочной аппаратуры (рис. 40, *в*). В большинстве случаев колонны выполняют поворотными с ручным или электромеханическим приводом поворота.

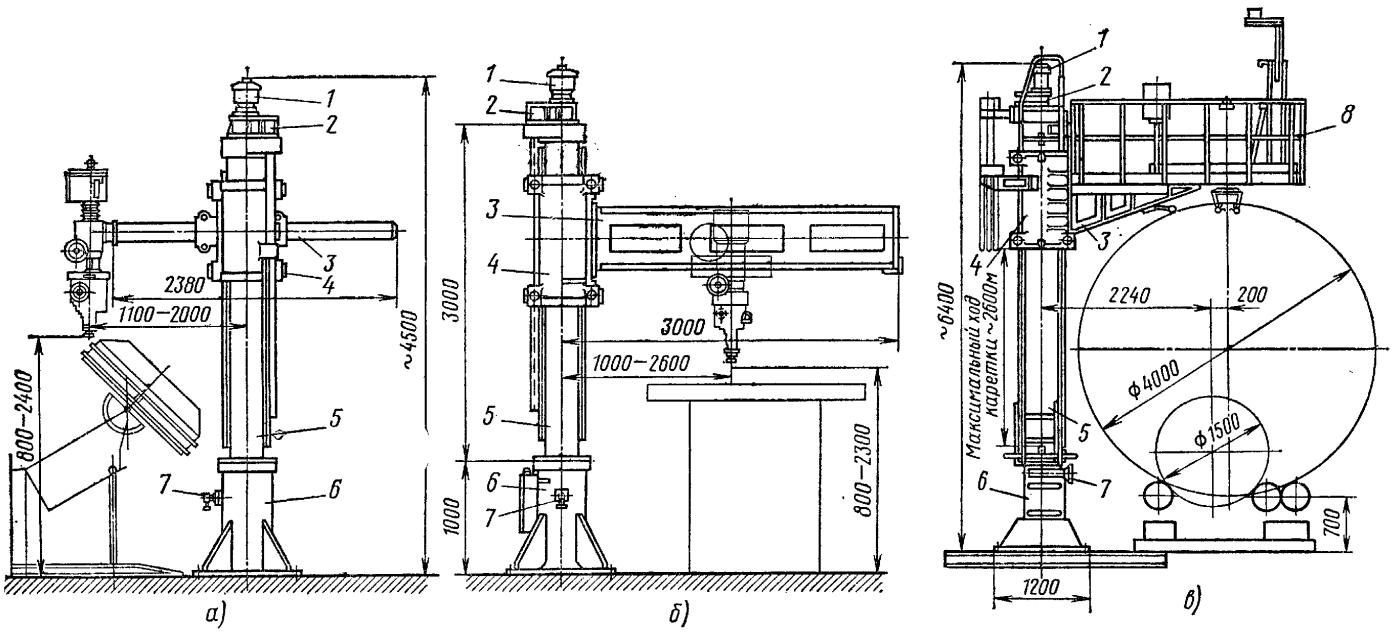


Рис. 40. Колонны поворотные для сварочных автоматов:

а — с выдвижной консолью ПК-1; *б* — с невыдвижной консолью ПК-2; *в* — с балконом ПК-3; *1* — электродвигатель; *2* — редуктор; *3* — консоль; *4* — каретка; *5* — стойка; *6* — основание; *7* — фиксатор; *8* — балкон

32. Техническая характеристика унифицированных колонн и тележек

Параметр	Поворотная колонна					Велосипедная тележка с консолью				Велосипедная тележка с балконом		Глагольная тележка		Портальная тележка	
	ПК-1	ПК-2	ПК-4		ПК-3	ВТ-1	ВТ-2	ВТ-4		ВТ-2Б	ВТ-3	ГТ-1	ГТ-2	ПТ-1	ПТ-2
			АБС	А-874				АБС	А-874						
Высота уровня сварки, мм	800—2400	800—2300	1360—4160	1300—4300	2200—4800	800—2800	800—2400	1135—3935	1475—4075	2000—4000	2200—4800	800—2800	1000—2800	Ход балкона в вертикальном направлении 2950	4850
Расстояние между осями стойки и электрода, мм	1100—2000	1000—2600	4130*		2240—2440	1100—2000	1000—2600	4130*		2100—2300	2240—2440	1100—2000*	1100—2000*	—	—
Наибольшая длина свариваемых прямолинейных швов, мм	—	2000	2800	2500	2500	Не ограничена	Продольных не ограничена, поперечных 1600	Продольных не ограничена Поперечных: 2800	2500	2000	2500	Не ограничена	Не ограничена	Не ограничена	Не ограничена
Скорость перемещения тележки:															
маршевая, м/мин	—	—	—	—	—	13	13	10		13	11	13	13	5,8	6,0
сварочная, м/ч	—	—	—	—	—	19—77	19—77	18,5—74,5		—	—	19—77	19—77	—	—
подъема и опускания консоли или балкона, м/мин	2,0	2,0	—	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0		2,0	2,0	2,0	2,0	1,6	1,6
выдвижения консоли, м/мин	1,0	—	—	—	—	1,0	—	—		—	—	1,0	1,0	—	—

Продолжение табл. 32

Параметр	Поворотная колонна					Велосипедная тележка с консолью				Велосипедная тележка с балконом		Глагольная тележка		Портальная тележка	
	ПК-1	ПК-2	ПК-4 АБС	ПК-4 А-874	ПК-3	ВТ-1	ВТ-2	ВТ-4 АБС	ВТ-4 А-874	ВТ-2Б	ВТ-3	ГТ-1	ГТ-2	ПТ-1	ПТ-2
Угол поворота стойки с консолью, градусы	340	340	270		270	—	—	—		—	—	—	340	—	—
Габаритные размеры, мм:															
длина	2380	3570	5000		4300	2520	2520	5200		3000	4300	2540	2540	4 100	6 100
ширина	1000	1000	1350		3600	2380	3500	3900		3000	3600	2380	2380	6 170	8 750
высота	4500	4530	6500		7300	4900	4900	6000		4900	7000	4900	4960	7 750	8 400
Масса, кг	2025	2255	5030		4915	2200	2500	5200		1860	5300	2230	2440	13 500	20 600

* Вылет консоли (расстояние от оси колонны до конца консоли).

Примечания: 1. Тележки ВТ-1, ВТ-2, ВТ-4, ГТ-1 и ГТ-2 имеют бесступенчатую регулировку сварочной скорости.
2. Колонны ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, тележки ВТ-1, ВТ-2, ВТ-3 изготовляет Ленинградский центральный ремонтно-механический завод Министерства строительного и дорожного машиностроения.
3. Колонны ПК-1 применяют для несамоходных сварочных аппаратов АБ; А-384 и А-626; ПК-2 — для самоходных сварочных аппаратов АБС; ПК-4 — для самоходных сварочных аппаратов; ПК-3 с балконом для самоходных аппаратов ТС-35 и ратов АБС; ВТ-4 — для самоходных сварочных аппаратов АБ, А-384 и А-626; ВТ-2 — для самоходных сварочных аппа-
ВТ-3 — для самоходных сварочных аппаратов АБС и ТС-35; тележку ГТ-1 с неповоротной колонной используют для несамоходных сварочных аппаратов АБ и А-384; ГТ-2 — с поворотной колонной — для несамоходных сварочных аппаратов АБ и А-384; ПТ-1 — для сварки сосудов диаметром 1200—4000 мм для самоходных сварочных аппаратов ТС-17; ТС-33, ТС-35, АБС и А-874; ПТ-2 — для сварки сосудов диаметром 1000—6000 мм для самоходных сварочных аппаратов ТС-17 и ТС-35.

Тележки (рис. 41) представляют собой колонны, размещенные на самоходном шасси; различают тележки велосипедные, глагольные и портальные. Велосипедная тележка (рис. 41, *а* и *б*) имеет двухколесное шасси для перемещения по одному напольному рельсу. Она предназначена для работы у стен или колонн цеха, на которых укреплен верхний направляющий монорельс. По монорельсу катятся холостые бегунки, укрепленные в верхней части колонны и удерживающие тележку от опрокидывания. Глагольная тележка (рис. 41, *в*) имеет шасси на четырех или трех ходовых колесах для перемещения по напольным рельсам. Портальная тележка (рис. 41, *г*) перемещается по двум рельсам, уложенным по обе стороны свариваемого изделия. Портальная тележка состоит из двух колонн на шасси, соединенных сверху жесткой балкой. По направляющим колонн перемещается траверса с направляющими для сварочного аппарата. Тележки выполняют со сварочной (регулируемой) и с установочной скоростью перемещения. Для сварки кольцевых швов, а также для сварки кольцевых и коротких прямолинейных швов используют тележки с установочной скоростью; для сварки длинных прямолинейных швов применяют тележки со сварочной скоростью.

В табл. 32 приведена техническая характеристика колонн и тележек, разработанных в ИЭС им. Е. О. Патона на базе широкой унификации узлов и деталей.

Колонна со сварочной скоростью горизонтального перемещения консоли для автоматической сварки внутренних и наружных продольных стыков обечаек и труб длиной до 2500 мм и диаметром от 400 мм разработана ВНИИПТхимнефтеаппаратуры (г. Волгоград).

33. Техническая характеристика площадок для сварщика

Параметр	9411.02.00	ПСП-4	ПСУ-2/1,6	ПСУ-4/2
Высота подъема над полом, мм:				
наименьшая	1200	1600	800	960
наибольшая	4000	4000	2290	4000
Вылет балкона от оси колонны, мм:				
наименьший	Нерегулируемый	—	0	0
наибольший	То же	—	1660	2000
Грузоподъемность, кг	500	300	250	200
Размеры балкона в плане, мм	3500×1200	1000×1750	1800×900	2000×1000
Колея площадки, мм	2000	1400	1400	1524
База площадки, мм	—	1900	1450	2200
Скорость, м/мин:				
подъема — опускания балкона	2,85	2	2	3
перемещения площадки	6,7	6	6	10
Мощность привода, кВт:				
подъема — опускания балкона	2,8	1,5	1,5	3,0
перемещения площадки	1,7	0,8	—	1,1
Масса площадки, кг	4040	2800	2100	2500
Габаритные размеры, мм:				
длина	2210	2500	1930	2800
ширина	3500	2000	1540	2500
высота	4990	5000	1860	2700

Примечание. Площадка 9411.02.00 разработана на Уралмашзаводе, ПСП-4 и ПСУ-4/2 — в ВИСПе, ПСУ-2/1,6 — в ВПТИтяжмаше.

Для сварки прямолинейных швов листовых секций, балок, колонн, элементов металлоконструкций применяют катучие балки (рис. 42). На балке закреплен рельсовый путь для самоходного сварочного автомата; сама балка перемещается по рельсам, установленным на колоннаде. Гамма катучих балок ИЭС им. Е. О. Патона предназначена для сварки швов длиной от 3 до 8 м.

Колонны для сварочных полуавтоматов (рис. 43, *а*) предназначены для установки и перемещения подающего механизма и бухты со сварочной проволокой.

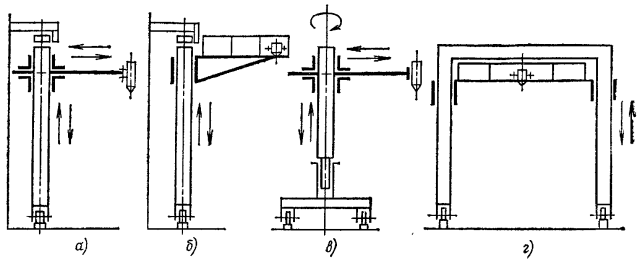


Рис. 41. Схема тележек:

а — велосипедная с выдвижной консолью; *б* — велосипедная с балконом; *в* — глагольная; *г* — портальная

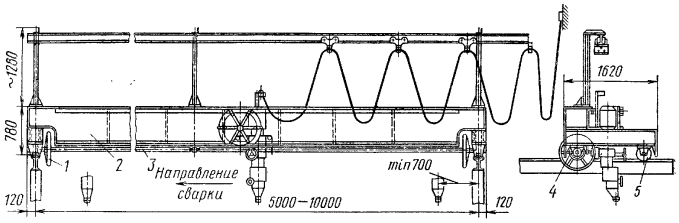


Рис. 42. Катучая балка Т-7:

1 — штурвал; *2* — балка; *3* — соединительный вал; *4* — ведущее колесо; *5* — холостое колесо

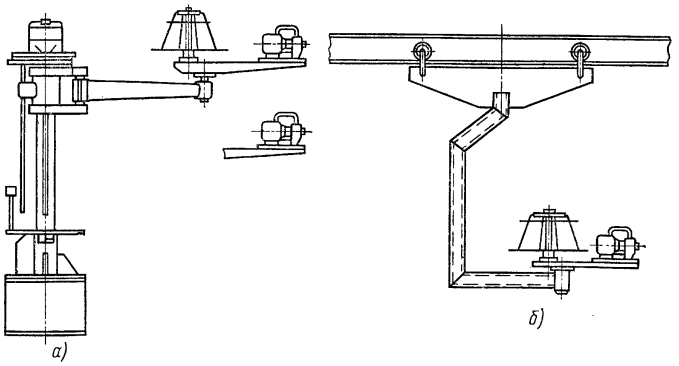


Рис. 43. Оборудование для перемещения сварочных полуавтоматов:

а — колонна с подъемной двухплечевой консолью; *б* — каретка, перемещающаяся по монорельсу

При сварке изделий большой протяженности применяют подвесной кронштейн, перемещающийся по монорельсу (рис. 43, *б*).

Площадки для сварщиков обеспечивают удобное положение сварщиков при работе на высоте. Площадки выполняют стационарными, переносными и передвижными, а также подъемными и подъемно-выдвижными (рис. 44 и табл. 33).

Оборудование для уплотнения стыков. Оборудование данного типа предназначено для предотвращения протекания расплавленного металла в зазоры между кромками и для формирования обратной стороны шва при дуговой и электрошлаковой сварке. Оборудование разделяют по виду свариваемых швов — для прямолинейных и кольцевых швов и по конструктивному исполнению — на устройства с флюсовыми подушками и с металлическими подкладками. Оборудование для уплотнения стыков наиболее широко применяют при сварке листовых полотнищ, а также при сварке продольных и кольцевых швов цилиндрических изделий.

Для уплотнения прямолинейных стыков крупногабаритных листовых полотнищ служат стенды с флюсовыми или флюсомедными подушками, которые поджимают к свариваемым стыкам с помощью воздушного шланга. Стенды выполняют с подвижными (регулируемыми) или неподвижными подушками, с верхним или нижним поджимом листов к подушке. Наибольшее применение находят электромагнитные стенды, позволяющие производить сборку полотнищ и обеспечивающие свободный доступ для сварки. Типовые электромагнитные стенды, разработанные ИЭС им. Е. О. Патона, имеют техническую характеристику, приведенную в табл. 34.

34. Техническая характеристика электромагнитных стендов

Параметр	Р-703	Р-624	Р-625	Р-752
Число листов в полотнище	2	До 6	До 8	До 10
Наибольшие размеры полотнищ, мм:				
длина	5600	10 000	10 000	10 000
ширина	3000	4 800	6 000	7 400
Расстояние между продольными швами, мм	—	1100—1500	1100—1500	1 400
Мощность генератора питания электромагнитов постоянным током, кВт	2,5	27	33	—
Габаритные размеры, мм:				
длина	6800	10 460	10 460	10 670
ширина	2556	4 860	6 390	7 970
высота	530	590	590	790
Масса, т	3,22	14,3	19,1	24

Примечание. Сила притяжения листов толщиной 5 мм на погонную длину 1 м стыка (на обе кромки) до 4000 кгс.

Передвижная электромагнитная флюсовая подушка на тележке (рис. 45) для компоновки электромагнитных стендов, разработанная применительно к многономенклатурному производству полотнищ с различным расположением сварных швов, имеет следующие параметры:

Длина сварных швов, мм	До 10 000
Колея тележки, мм	6 000
Габаритные размеры, мм:	
длина	10 600
ширина	670
высота	535
Масса, т	3,04

Стенды с верхним прижимом листов к подушке применяют при изготовлении полотнищ железнодорожных цистерн [4], вертикальных стенок и поясов коробча-

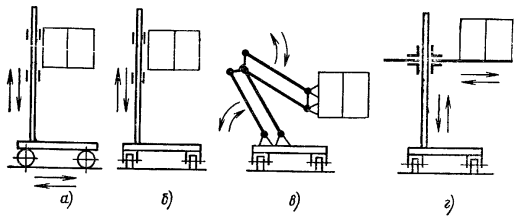


Рис. 44. Площадки для сварщиков:

а и *б* — подъемные, соответственно 9411.02.00 и ПСП-4; *в* и *г* — подъемновыдвижные, соответственно ПСУ-2/1,6 и ПСУ-4/2

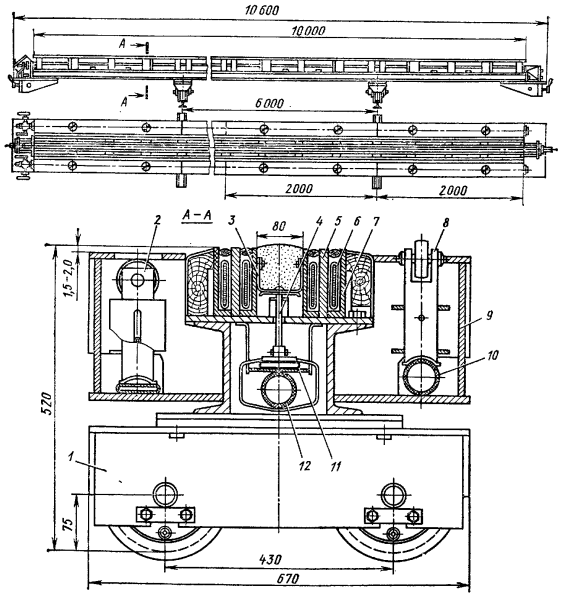


Рис. 45. Электромагнитная флюсовая подушка:

1 — тележка; *2* и *8* — ролики перемещения свариваемых листов; *3* — брезентовый желоб для флюса; *4* — толкатель; *5* — сердечник электромагнитного блока; *6* — катушка электромагнита; *7* — корпус электромагнита; *9* — корпус подушки; *10, 11, 12* — пневмошланги

тых балок электромостовых кранов и др. Современные стенды для сварки полотнищ оснащают флюсомедными подушками, которые обеспечивают лучшее форми-

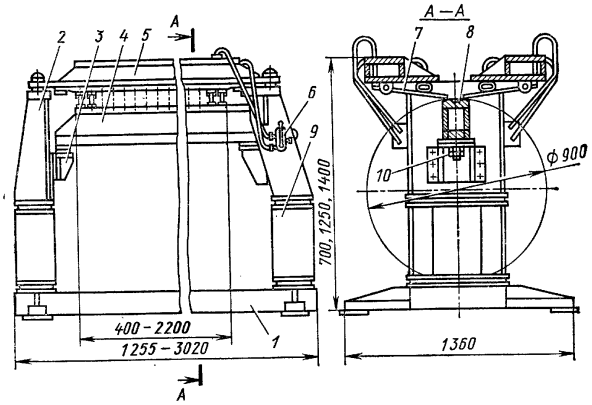


Рис. 46. Стенд для односторонней сварки продольных швов тонкостенных обечаек:

1 — основание; *2* — стойка; *3* — кронштейн; *4* — поворотная консоль; *5* — прижимная балка; *6* — воздушный кран; *7* — прижим; *8* — металлическая подкладка; *9* — сменная стойка; *10* — ось поворота консоли

рование обратной стороны швов и позволяют применить одностороннюю сварку полотнищ больших толщин.

Для односторонней сварки продольных швов тонкостенных обечаек широко применяют стенды с металлическими подкладками. Разработанная НИАТом

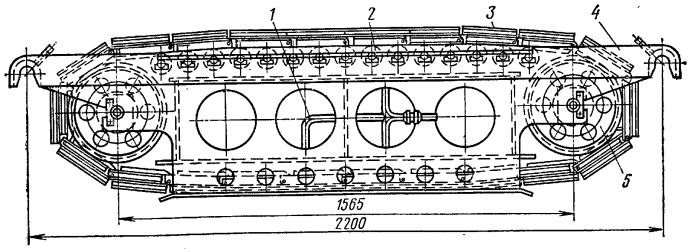


Рис. 47. Гусеничный башмак для сварки наружных продольных швов труб:

1 — трубы воздушного охлаждения ленты; *2* — опорный ролик; *3* — пластинчатая лента с медными накладками; *4* — корпус; *5* — направляющий ролик

гамма стендов из унифицированных элементов (рис. 46) рассчитана для обечаек длиной до 2200 мм и диаметром до 1250 мм. Для наружной сварки прямолинейных швов труб диаметром 529—820 мм на поточных линиях успешно используется

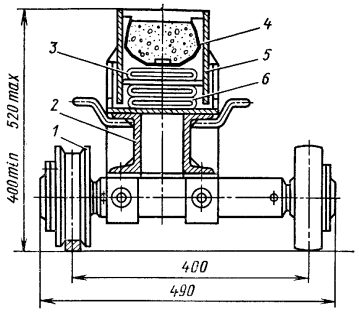


Рис. 48. Флюсовая подушка для сварки внутренних продольных швов обечаек:

1 — каток; *2* — тележка; *3* — пневмошланг для поджима флюса к стыку; *4* — брезентовый желоб; *5* — подъемный корпус; *6* — пневмошланги для подъема корпуса

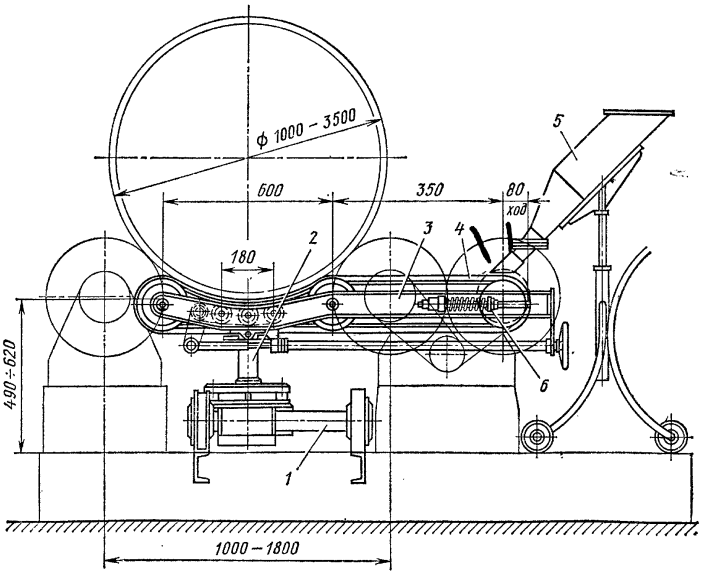


Рис. 49. Флюсовая подушка ременного типа для сварки внутренних кольцевых швов:

1 — тележка; *2* — пневмоцилиндр; *3* — поворотная рама; *4* — бесконечная резиновая лента с бортами; *5* — бункер для подачи флюса; *6* — натяжное устройство

гусеничный башмак (рис. 47) с лентой, состоящей из шарнирно-скрепленных пластин с медными накладками.

Для сварки внутренних швов цилиндрических изделий применяются устройства с флюсовыми подушками; для продольных швов — с поджимом флюса к стыку при помощи воздушного шланга (рис. 48); для кольцевых швов — ременного типа (рис. 49) и с кольцевым лотком (рис. 50).

35. Техническая характеристика флюсоаппаратов для сбора флюса

Параметры	Переносные		Передвижные	
	ФСП	А-875	Р-550А	Р-895А
Производительность, кг/мин	6	10	17,5	6
Полезная вместимость бункера, л	15	10	28	28
Высота всасывания, м	0,5	—	1	1
Длина всасывающей трубы, м	4	—	7	7
Габаритные размеры, мм:				
длина	550	700	1195	1195
ширина	220	250	600	600
высота	290	350	1480	1500
Масса флюсоаппарата без флюса, кг	7	14	80	140

Примечание. Избыточное давление воздуха в сети 4,5—5 кгс/см² для аппаратов ФСП, А-875, Р-550А.

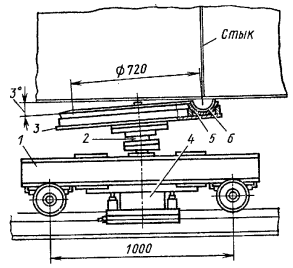


Рис. 50. Флюсовая подушка с эластичным лотком для сварки внутренних кольцевых швов:

1 — тележка; *2* — вал; *3* — диск; *4* — пневмоцилиндр; *5* — ложемент; *6* — эластичный лоток

Оборудование для сбора флюса и подачи его в зону сварки. Это оборудование применяют при автоматической и полуавтоматической сварке под флюсом. К оборудованию этого типа относят флюсоаппараты для сбора флюса, флюсоаппараты для подачи флюса в зону сварки и сбора его, флюсоудерживающие приспособления. Флюсоаппараты для сбора флюса используют при полуавтоматической сварке и при сварке сварочными тракторами. Флюсоаппараты выполняют переносными или передвижными (табл. 35).

Флюсоаппараты для подачи флюса и его сбора разделяют по характеру циркуляции флюса в аппарате: с непрерывной и с периодической циркуляцией и по конструктивному исполнению — встраиваемые в сварочные аппараты и стационарные, монтируемые на опорах или на устройствах для перемещения сварочных аппаратов (табл. 36).

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОТДЕЛОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ

К отделочным операциям относятся зачистка и отделка сварных швов; правка сварных узлов; прокатка, проковка или термическая обработка сварных соединений; механическая обработка; очистка и отделка сварных изделий; нанесение защитных покрытий.

36. Техническая характеристика флюсоаппаратов для сбора и подачи флюса в зону сварки

Параметры	А-184-31М	А-876	А-561	Р-878	Р-670	А-1003
Полезная вместимость камеры, л	22	30	60	90	32	35
Производительность отсасывания флюса, кг/мин	7,5	15	16	17	8	—
Высота всасывания, м	—	1,8	3,1	2,9	—	1,5
Длина всасывающей трубы, м	—	2,4	3,6	3,3	—	6,0
Габаритные размеры, мм:						
диаметр	350	450	520	650	420	520
высота	530	800	2300	1750	1100	800
Масса, кг	25	42,5	70	75	42	—

Параметры	А-361, А-381	Р-675	Т-98	Р-720	А-593-6	Т-97М	А-850-9
Полезная вместимость камеры, л	50	130	630	750	28	30	65
Производительность отсасывания флюса, кг/мин	17	10	12	12	16	22	21
Высота всасывания, м	2,2	5,0	5,0	5,0	2,2	0,4	0,6
Длина всасывающей трубы, м	2,6	5,5	5,5	5,5	3,0	1,5	1,7
Габаритные размеры, мм:							
диаметр	520	600	1200	1200	410	440	650
высота	1600	2300	3700	3200	800	—	500
Масса, кг	60	85	220	220	165	244	215

Примечание: 1. Избыточное давление воздуха в сети 4,5—6 кгс/см². 2. Флюсоаппарат А-184-31М исполняют в комплекте со сварочными аппаратами А-184 или А-639; А-876 — в комплекте со сварочным аппаратом А-874; А-561 — в комплекте со сварочным аппаратом А-560; Р-878 — в комплекте со сварочным аппаратом А-615; флюсоаппараты Р-670, А-1003, А-361, А-381, Р-675, Т-98 и Р-720 — стационарные; А-593-6 — стационарный для одновременной сварки двух швов; Т-97М — для сварки труб ⌀ 529—820 мм, А-850-9 — для сварки труб ⌀ 720—1020 мм.

Зачистку сварных швов от шлака, грата, окалины, брызг и наплывов, а также очистку и отделку сварных изделий производят механизированно-ручными электрическими и пневматическими машинами. Эти машины также применяют для подготовки и зачистки свариваемых кромок и поверхностей от ржавчины, окалины и загрязнений. Механизированно-ручные машины разделяют по виду привода на электрические и пневматические, по назначению — на шлифовальные, зачистные, рубильные и фрезерные, по конструкции — на прямые, угловые и торцовые.

Технические данные выпускаемых механизированно-ручных шлифовальных машин (рис. 51) приведены в табл. 37 и 38.

Зачистные машины, служащие для очистки металлических поверхностей от ржавчины и окалины, имеют техническую характеристику, приведенную в табл. 39.

Фрезерная машина РФМ-1, предназначенная для обработки кромок, снятия фасок, удаления наплавленных валиков, имеет следующую техническую характеристику:

Диаметр фрез, мм	18 и 21	Мощность, л. с.	1,2
Частота вращения шпинделя, об/мин:		Расход воздуха, м³/мин	1,0
на холостом ходу	13 000	Габаритные размеры, мм	⌀ 50×310
под нагрузкой	9 000	Масса, кг	2,5

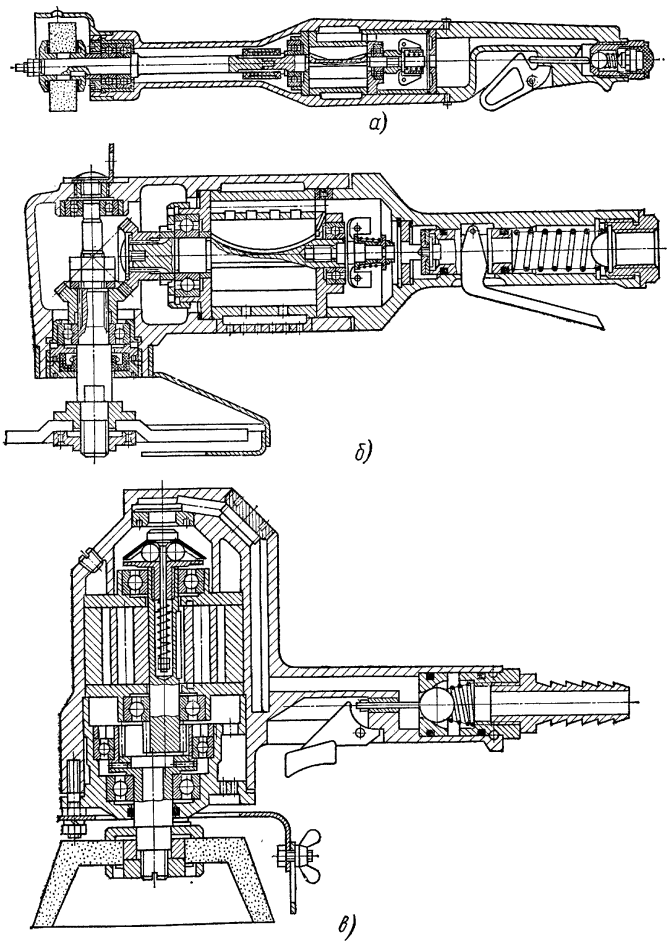


Рис. 51. Ручные шлифовальные пневматические машины:
а — прямая; *б* — угловая; *в* — торцовая

37. Техническая характеристика механизированно-ручных электрических шлифовальных машин

Параметр	Прямая машина ИЭ-2004А	Угловые машины		Машина с гибким валом ИЭ-8201А
		ИЭ-2103А	ИЭ-2102А	
Диаметр шлифовального круга, мм	150	180	220	200*1 / 125
Частота вращения шпинделя, об/мин	3800	8500	6500	2920
Мощность электродвигателя, кВт	0,8	1,6	1,6	0,8
Напряжение питающей сети, В	36	36	36	220
Частота тока, Гц	200	200	200	50
Габаритные размеры, мм:				
длина	609	464	464	
ширина	204	247	272	
высота	117	177	177	
Масса (без кабеля и шлифовального круга), кг	6,5	8,2	8,2	26,5*2

*1 В числителе указан диаметр круга прямой головки, в знаменателе — диаметр круга угловой головки.

*2 Масса прямой универсальной шлифовальной головки (без круга) 2,3 кг, угловой — 2,2 кг.

Примечание. Изготовитель — Выборгский завод «Электроинструмент».

38. Техническая характеристика механизированно-ручных пневматических шлифовальных машин

Параметр	Прямые машины				Угловые машины			Торцовая машина ИП-2203
	ШМ25-50	ИП-2009А	ИП-2015	ИП-2014	УЗМ-100	УЗМ-150	УЗМ-200	
Диаметр шлифовального круга, мм	50	60	100	150	100	150	200	125
Частота вращения шпинделя, об/мин:								
на холостом ходу	16 000	12 700	7600	5100	—	—	—	4580
под нагрузкой	8 000	—	—	—	4500	3200	2400	—
Мощность, л. с.	0,25	0,6	1,0	1,75	0,5	0,8	1,25	1,8
Расход сжатого воздуха, м³/мин	0,4	0,9	1,2	1,8	0,7	0,9	1,2	1,6
Диаметр шланга в свету, мм	9	12	12	16	9	12	12	18
Габаритные размеры, мм:								
длина	250	476	510	565	280	355	385	320
ширина	50	73	114	164	105	155	205	150
высота	50	70	93	127	73	86	88	200
Масса (без шлифовального круга), кг	0,9	2,0	3,5	5,5	1,5	2,7	3,0	4,3

Примечание: 1. Давление воздуха на входе в машину 5 кгс/см².
2. Машины ШМ25-50, УЗМ-100, УЗМ-150 и УЗМ-200 разработаны Научно-производственным объединением «Ритм»; машину ИП-2009А изготовляет Московский завод «Пневмостроймашина»; машины ИП-2015 и ИП-2014 — Конаковский завод механизированного инструмента; ИП-2203 — Свердловский завод «Пневмостроймашина» им. Орджоникидзе.

39. Техническая характеристика зачистных машин

Параметр	«Волна»	ТПЩ-1
Диаметр проволочной щетки, мм	100—110	100
Частота вращения щетки, об/мин	3000	4100
Мощность, л. с.	0,7	0,5
Расход воздуха, м³/мин	0,9	0,4
Производительность, м²/ч	До 6,0	—
Габаритные размеры, мм:		
длина	430	180
ширина	100	400
высота	130	170
Масса, кг	3,4	2,5

40. Техническая характеристика пневматических пылесосов

Параметр	ПП-3М	ПП-4М
Полезная вместимость резервуара, л	6	23
Габаритные размеры, мм:		
длина	370	400
ширина	342	580
высота	296	370
Масса, кг	5,7	7,2

Примечание. Разрежение во всасывающем патрубке 100 мм рт. ст.; диаметр: сопла эжектора 4 мм, воздушного шланга в свету 9 мм, всасывающего шланга в свету 32 мм, длина всасывающего шланга 1,5 м.

Пневматический молоток МЭС, служащий для зачистки сварных швов, легкой рубки и чеканки, имеет следующую техническую характеристику:

Энергия удара, кгс · м	0,15—0,20
Число ударов в минуту	2800—3000
Расход воздуха, м³/мин	0,3
Габаритные размеры, мм:	
длина	250
ширина	51
высота	48
Масса, кг	1,0

Пневматические пылесосы, применяемые для очистки сварных конструкций перед окраской от пыли, мелкого мусора, дробленой стружки и флюса, имеют техническую характеристику, приведенную в табл. 40.

Зачистные машины, фрезерная машина, пневматический молоток разработаны НПО «Ритм».

Для очистки и подготовки свариваемых изделий под окраску используют методы дробеметной, дробеструйной и химической очистки (см. стр. 261).

Для правки сварных изделий применяют гидравлические прессы (см. рис. 3—5) листогибочные трех- и четырехвалковые машины (см. табл. 15), а также специализированные станки.

Станок для правки грибовидности сварных двутавровых балок имеет следующую техническую характеристику:

Параметры выправляемых балок:	
высота, мм	500—2030
ширина полки, мм	220—600
толщина полки, мм	10—40
длина, мм	До 12 000
$\sigma_т$ металла, кгс/мм²	„ 50
Скорость, м/с:	
движения балки подающими роликами	0,165
подачи нажимного ролика	0,0006
Усилие, кгс:	
нажимного ролика	140 000
на один подающий ролик	70 000
Мощность электродвигателя привода роликов, кВт:	
подающих	42
нажимного	42
Габаритные размеры, мм:	
длина	5 550
ширина	2 780
высота	4 749
Масса, т	49

Станок изготовляет Старо-Краматорский машиностроительный завод им. Орджоникидзе.

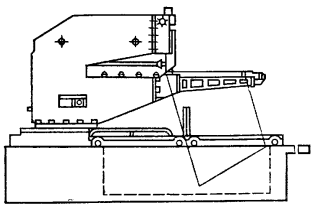


Рис. 52. Станок СППШ для прокатки продольных швов

41. Техническая характеристика станков для прокатки и проковки сварных швов тонкостенных оболочек

Параметр	Для прокатки		Для проковки	
	СППШ	СПКШ	СВППШ-1	СВППШ-2М
Наибольшая длина обрабатываемого продольного шва, мм	1775	—	1700	1500
Диаметр обрабатываемых деталей, мм:				
при обработке продольных швов	600—3000	—	300—2800	40—5000
при обработке кольцевых швов	—	350—2800	—	До 2800
при калибровке	—	—	—	До 1000
Наибольшая высота обрабатываемой детали, мм	—	1400	—	—
Наибольшая толщина обрабатываемых деталей, мм:				
из высокопрочных сплавов	—	—	5	5
из легких сплавов	—	—	10	10
Скорость обработки, м/мин	0,5—5,0	0,5—5,0	0,2—1,0	0,2—1,0
Площадь, занимаемая станком, м²	36	12	—	—
Габаритные размеры, мм:				
длина	—	—	3700	5000
ширина	—	—	4000	2900
высота	—	—	1800*1	3385
Масса, т	11	14	—	—

*1 Для обработки деталей диаметром до 1000 мм; для обработки деталей диаметром 1000—2800 мм машина имеет габаритные размеры: длина 11 000 мм, ширина 4000 мм, высота 1800 мм.

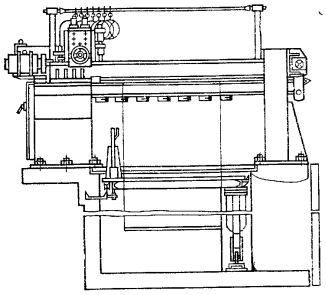


Рис. 53. Станок СВППШ-1 для проковки продольных швов

Станки для прокатки и проковки сварных швов (рис. 52 и 53) обеспечивают правку и улучшение механических свойств металла в зоне сварных соединений (табл. 41). Станки для проковки предназначены для обработки изделий из металлов, труднодеформируемых в холодном состоянии.

Многобойковые упрочнители (рис. 54) предназначены для повышения усталостной прочности чеканкой сварного шва и околошовной зоны при изготовлении сварных изделий.

Упрочнитель представляет собой пневматический клепальный молоток, на который насажен специальный наконечник с пучком проволок (игл), наносящих сильные и частые удары по обрабатываемой поверхности и производящих упрочняющий наклеп сварного шва и околошовной зоны. Иглы упрочнителя изготовлены из проволоки 65Г диаметром 2; 1,5 и 1 мм с закалкой до твердости HRC 48—50. Упрочнитель работает от сети сжатого воздуха при давлении 5 кгс/см². Упрочнители разработаны ЦНИИТМАШем и имеют технические данные, приведенные в табл. 42.

42. Техническая характеристика многобойковых чеканочных упрочнителей

Тип упрочнителя	Тип пневмомолотка	Энергия удара, кгс·м	Число ударов в минуту	Длина иглы, мм	Габаритные размеры, мм			Масса, кг
					Длина	Ширина	Высота	
П-10	КМП-13	0,2	1800	114	265	136	44	1,6
П-11	КМП-23	0,4	1500	110	290	145	48	1,8
П-12	КМП-31	0,8	1320	105	310	153	64	2,0

Для механической обработки сварных изделий наряду с универсальным станочным оборудованием применяют специализированное оборудование:

— фрезерный трактор для снятия усиления стыковых прямолинейных швов на листовых полотнищах и обечайках [2];

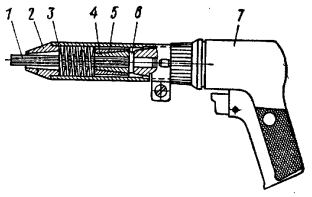


Рис. 54. Многобойковый чеканочный упрочнитель:

1 — пучок проволок (игл); *2* — наконечник; *3* — пружина; *4* — втулка; *5* — стакан; *6* — боек; *7* — пневмомолоток

— машина «Волна» для обработки сварных швов трубопроводов [12];

— строгальный станок ГД-39 для снятия грата на обечайках после стыковой сварки (Гомельский станкостроительный завод им. С. М. Кирова);

— фрезерный переносной станок СПФ-1 для обработки крупногабаритных конструкций [12];

— сверлильные переносные пневматические машины с креплением электромагнитами [12] и др.

ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ СВАРОЧНЫХ ЦЕХОВ

Основные виды подъемно-транспортного оборудования сварочных цехов — тали, краны, напольный безрельсовый транспорт, рельсовые тележки, конвейеры. В сварочных цехах применяют универсальное подъемно-транспортное оборудование общего назначения (табл. 43), а также специализированное оборудование, некоторые примеры которого представлены на рис. 55—57 [4].

Грузозахватные приспособления служат для крепления и подвешивания груза на крюк грузоподъемного механизма. К ним относятся захваты, траверсы и стропы. Захваты разделяют в зависимости от вида транспортируемого груза (для листового, профильного материала, труб и обечаек) и устройства: механические, вакуумные, магнитные (рис. 58, 59). Траверсы применяют для строповки груза больших размеров: длинных листовых полотнищ, профильного материала и обечаек (рис. 60). Траверсы оснащают механическими, вакуумными или магнитными захватами, подвешиваемыми на стропах. Стропы служат для крепления захватов и подвешивания их на крюк крана или к траверсам, а также для непосредственной строповки различных грузов [2].

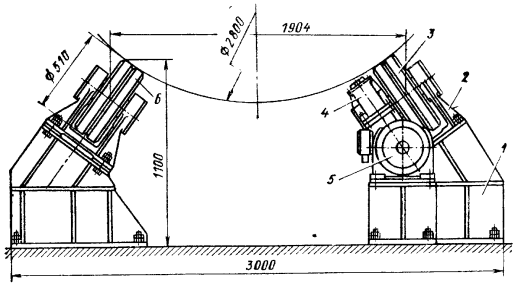


Рис. 55. Роликовый конвейер для крупных цилиндрических изделий:

1 — рама; *2* — стойка; *3* — ролик; *4* — редуктор; *5* — электродвигатель; *6* — неприводная роликовая опора

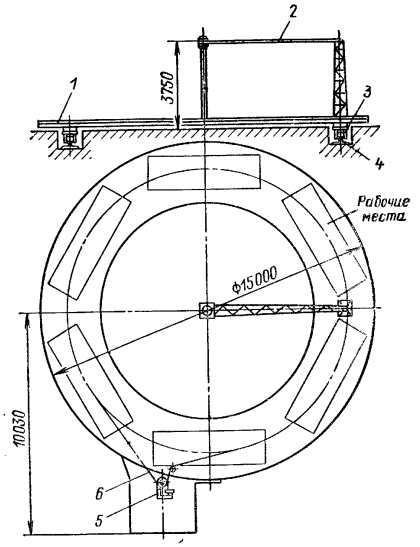


Рис. 56. Карусельный конвейер:

1 — поворотный круг; *2* — воздухопровод; *3* — каток; *4* — рельсовый путь; *5* — приводная станция; *6* — цепь

43. Универсальное подъемно-транспортное оборудование, применяемое в сварочных цехах

Оборудование	Зона обслуживания	Наибольшая грузоподъемность, т	Наибольшая высота подъема груза, м	ГОСТ
Электротали	Рабочее место, участок	5,0	18,0	22584—77
Краны:				
козловые	Склады металла и готовой продукции	32,0	10,0	7352—75
мостовые	Пролет цеха	320,0	32,0	534—78
				22045—76, 6711—70
подвесные	То же	5,0	18,0	7890—73
полукозловые	Участок, расположенный на одной стороне цеха	3,2	6,0	—
консольные передвижные	То же	3,2	6,0	—
консольные стационарные поворотные	Рабочее место	3,2	6,0	19811—74
штабелеры	Склады со стеллажным хранением	12,5	14,7	16553—76
Напольный безрельсовый транспорт:				
погрузчики	Цех	5,0	4,5	16215—70, 20805—75
самоходные тележки	Межцеховые и внутрицеховые перевозки	5,0	—	18991—73
тягачи	То же	12,5	—	15942—70
прицепные тележки	»	3,2	—	13188—67
тележки-штабелеры	Цех	2,0	4,5	10721—75
Рельсовые тележки	В пределах пролета цеха, а также передача грузов из пролета в пролет	120,0	—	—
Конвейеры:				
роликовые:				
неприводные	Рабочее место, участок	2,0*1	—	8324—71, 15516—76
приводные	То же	2,0*1	—	20708—75
подвесные:				
грузонесущие	Внутрицеховое и межцеховое транспортирование по замкнутой пространственной трассе	0,8	—	5946—66
толкающие	То же	2,0	—	—
грузоведущие напольные тележечные	Транспортирование изделий в поточных линиях по кольцевым и многоконтурным трассам	3,2	—	15517—70

*1 На ролик.

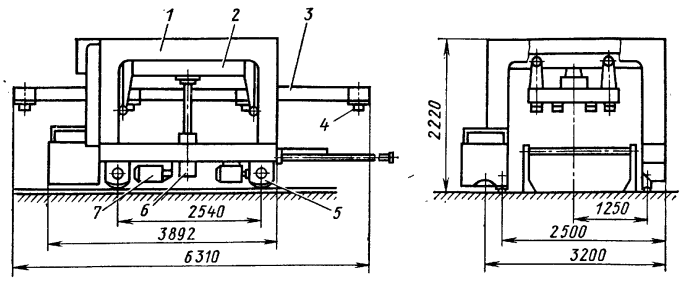


Рис. 57. Портал для транспортировки листов в горизонтальном положении:

1 — портал; *2* — подъемная каретка; *3* — траверса; *4* — электромагнитный захват; *5* — привод перемещения портала; *6* — гидроцилиндр подъема каретки; *7* — гидростанция

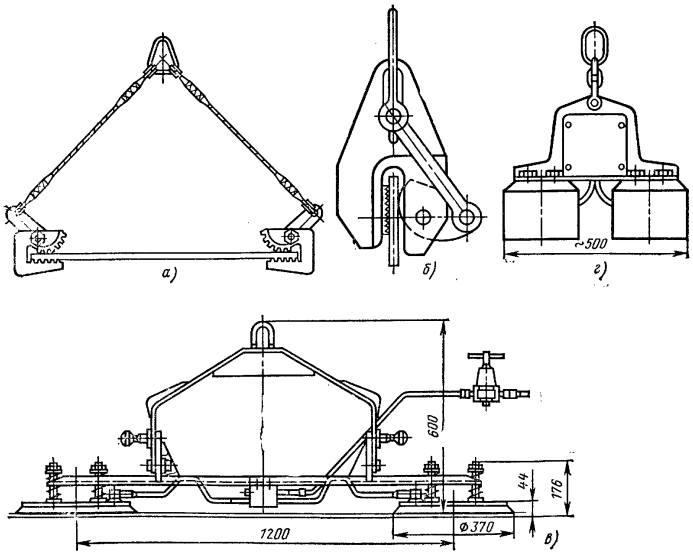


Рис. 58. Захваты для листов:

а — эксцентриковый для транспортировки в горизонтальном положении; *б* — эксцентриковый для транспортировки в вертикальном положении; *в* — вакуумный; *г* — электромагнитный

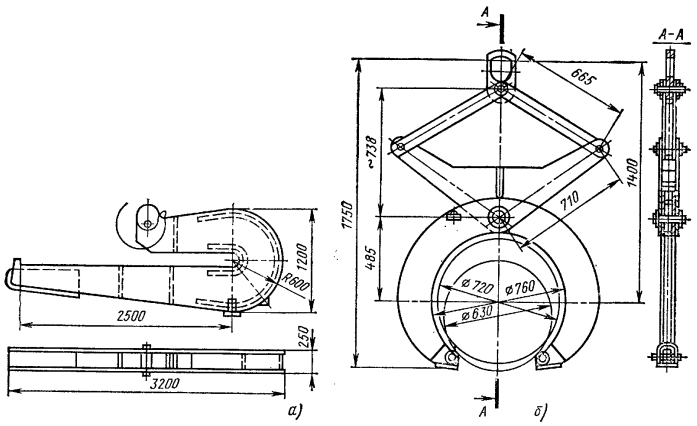


Рис. 59. Захваты:

а — для обечаек; *б* — для труб

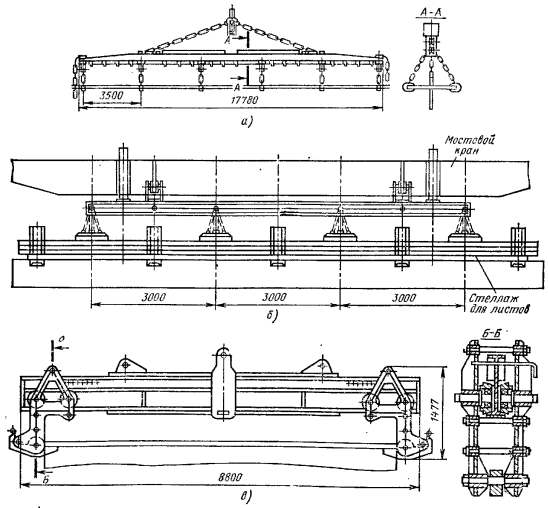


Рис. 60. Траверсы:

а — для листовых полотнищ с эксцентриковыми горизонтальными и вертикальными захватами; *б* — для листов с электромагнитными захватами; *в* — для обечаек

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Альбом** оборудования для заготовительных работ в производстве сварных конструкций. М., «Высшая школа», 1977. 136 с. Авт.: А. Д. Гитлевич, И. Н. Сухов, Д. В. Быховский и др.
2. **Воронов Е. Н., Колесниченко Л. Ф.** Оборудование заводов металлических конструкций. М., «Машиностроение», 1972. 208 с.
3. **Гитлевич А. Д., Этингоф Л. А.** Механизация и автоматизация сварочного производства. М., «Машиностроение», 1972. 280 с.
4. **Гитлевич А. Д., Животинский Л. А., Клейнер А. И.** Альбом механического оборудования сварочного производства. М., «Высшая школа», 1974. 159 с.
5. **Кузнечно-прессовые** машины. Каталог-справочник. М., НИИМАШ. 1974.
6. **Лакокрасочные** покрытия в машиностроении. Справочник. Под ред. М. М. Гольдберга. М., «Машиностроение», 1974. 576 с.
7. **Лейто-прокатные** станы и адъюстажное оборудование прокатных цехов. Каталог-справочник. М., НИИинформтяжмаш, 1974. 136 с.
8. **Металлорежущие** станки. Каталог-справочник. М., НИИМАШ, 1973.
9. **Механическое** сварочное оборудование. Каталог-справочник. М., НИИМАШ, 1975. 76 с.
10. **Мошнин Е. Н.** Гибка и правка на ротационных машинах. М., «Машиностроение», 1967. 272 с.
11. **Николаев Г. А., Куркин С. А., Винокуров В. А.** Расчет, проектирование и изготовление сварных конструкций. М., «Высшая школа», 1971. 760 с.
12. **Оборудование** и механизированный инструмент для судостроения. Информационный справочник. Л., «Судостроение», 1973. 197 с.
13. **Романовский В. П.** Справочник по холодной штамповке. Л., «Машиностроение», 1971. 782 с.
14. **Рыжков Н. И.** Производство сварных конструкций в тяжелом машиностроении. М., «Машиностроение», 1970. 384 с.
15. **Сварочное** оборудование. Каталог-справочник. Киев, «Наукова думка», 1968. 776 с.
16. **Севбо П. И.** Комплексная механизация и автоматизация сварочного производства. Киев, «Техника», 1974. 416 с.
17. **Фишкис М. М.** Механизация и автоматизация контактной сварки. М., «Машиностроение», 1976. 47 с.

Глава 11

МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ МЕХАНИЗАЦИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ

Под механизацией производственного процесса понимается замена в нем ручного труда работой машин. При механизированном исполнении операций производственного процесса человек выполняет ручные вспомогательные приемы и управляет машиной. Высшей ступенью механизации является автоматизация, при которой исключается участие человека в выполнении вспомогательных приемов и управлении машиной. Механизация или автоматизация может быть частичной, распространяющейся на отдельные операции производственного процесса, и комплексной, охватывающей ряд последовательных операций по изготовлению детали, комплекта или изделия, включая межоперационный транспорт. Оборудование для механизации и автоматизации производственных процессов разделяется на механизированные машины; полуавтоматы; автоматы; механизированные, автоматизированные и автоматические линии *.

Уровень механизации характеризуется количественным $У_1$ и качественным $У_2$ показателями:

$$У_1 = \frac{\Sigma T_{мi} П_i}{\Sigma T_{мi} П_i + T_р} 100\%; \quad (1)$$

$$У_2 = \frac{\Sigma T_{мi} П_i - \Sigma T_{мi}}{\Sigma T_{мi} П_i + T_р} 100\%, \quad (2)$$

где $T_{мi}$ — трудоемкость операции, выполняемой механизированным способом; $П_i$ — коэффициент производительности оборудования; $T_р$ — суммарная трудоемкость операций, выполняемых ручным способом.

Коэффициент $П_i$ характеризует рост производительности при замене ручной операции (или механизированной, принятой за базу) механизированной и определяется как отношение трудоемкости $T_{рi}$ до проведения механизации к трудоемкости $T_{мi}$, достигаемой в результате механизации:

$$П_i = \frac{T_{рi}}{T_{мi}}. \quad (3)$$

Показатель $У_1$ определяет удельный объем механизированных операций в производственном процессе. Числитель формулы (1) представляет собой трудоемкость операций, осуществляемых механизированными способами, в случае их исполнения вручную; эту трудоемкость называют приведенной трудоемкостью механизированных операций. Знаменатель формулы представляет собой общую трудоемкость всех операций в случае их исполнения вручную или общую приведенную трудоемкость. Показатель $У_1$ характеризует уровень механизации только количественно, так как он не изменяется при замене менее производительного механизированного оборудования более производительным. При увеличении производительности оборудования показатель, вычисленный по формуле (1), не повышается, а остается неизменным. Это объясняется тем, что с повышением коэффициента $П$ производительности оборудования соответственно снижается

* Имеются в виду общемашиностроительные понятия видов оборудования, которые в части полуавтоматов и автоматов не совпадают с принятыми в сварочном производстве.

трудоемкость $T_м$ производимых на нем операций. Поэтому при неизменной программе цеха произведение $T_м П$ остается постоянным и показатель $У_1$ не меняется. Таким образом, назначением показателя $У_1$ является оценка степени охвата механизацией производственного процесса.

Показатель $У_2$ отражает степень вытеснения живого труда в результате механизации. Числитель формулы (2) представляет собой трудоемкость, исключенную в результате механизации. Частное от деления этой трудоемкости на приведенную трудоемкость всех работ является удельным снижением трудовых затрат, достигаемым при внедрении машин, т. е. качественной характеристикой уровня механизации. Таким образом, назначение показателя $У_2$ — охарактеризовать сокращение трудовых затрат в результате механизации и уровень производительности применяемой техники.

В формулах (1) и (2) для удобства расчетов трудоемкости $T_м$ и $T_р$ могут быть заменены числом рабочих $P_м$, работающих на машинах, и $P_р$, выполняющих работу вручную. По формулам (1) и (2) определяют суммарный показатель уровня механизации и автоматизации. При подстановке величин, характеризующих только механизированное или автоматизированное производство, могут быть получены дифференцированные показатели.

1. Примерная структура трудоемкости работ сварочных цехов мелкосерийного и серийного производства

Операция	Доля, %	
	в общей трудоемкости	в трудоемкости сборочно-сварочного передела
Заготовительные по изготовлению деталей сварных конструкций	18	—
Сборка сварных узлов	21	29
Сварка	21	29
в том числе вспомогательные приемы при сварке	9	13
Отделочные (правка, отделка, термическая обработка, окраска, упаковка)	9	13
Вспомогательные	21	29
в том числе управление цеховыми кранами, стропальные и погрузочно-разгрузочные	15	22
Операции обслуживания	10	—
в том числе ремонт оборудования и инструмента, изготовление деталей оборудования и инструмента вместо изношенных	7	—

Для вычисления показателей $У_1$ и $У_2$ по сварочным работам коэффициенты $П$ регламентированы официальной инструкцией статистического учета [2], что позволяет устанавливать уровень механизации сварочных работ по отдельным изделиям, участкам, цехам, заводам, отраслям и промышленности в целом. Коэффициенты $П$ для других работ сварочного производства еще не регламентированы, что вызывает определенные трудности при расчете уровня комплексной механизации. Для укрупненной оценки уровня механизации прибегают к показателю степени охвата рабочих механизированным трудом

$$О_м = \frac{\Sigma P_м}{\Sigma P_м + \Sigma P_р} 100\%. \quad (4)$$

Показатель $О_м$ характеризует лишь количественный охват рабочих механизацией; он снижается при замене менее производительного оборудования более производительным. Наряду с этим показатель $О_м$ дополняет оценку уровня механизации по показателям $У_1$ и $У_2$, характеризуя уровень механизации труда.

Степень механизации и автоматизации труда, обеспечиваемая производственной машиной, характеризуется коэффициентами механизации и автоматизации:

$$k_м = \frac{t_м}{t_{оп}}; \quad (5)$$

$$k_а = \frac{t_а}{t_{оп}}, \quad (6)$$

где $t_м$ — неперекрытое машинное время выполнения процесса; $t_а$ — неперекрытое время автоматического выполнения процесса; $t_{оп}$ — оперативное время.

Процесс производства сварных конструкций состоит из заготовительных, сборочных, сварочных, отделочных и вспомогательных операций (табл. 1).

Из приведенных данных следует, что для достижения высоких показателей уровня механизации и автоматизации производства сварных конструкций необходим комплексный охват основных (заготовительных, сборочных, сварочных, отделочных) и вспомогательных операций, а также вспомогательных приемов основных операций.

МЕХАНИЗАЦИЯ ЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

При выполнении многих заготовительных операций на универсальном оборудовании основное (машинное) время составляет небольшую часть штучного времени; бо́льшую часть трудоемкости составляет вспомогательное время на установку и перемещение заготовок в процессе их обработки, на уборку деталей и отходов. Эти затраты в особенности велики при изготовлении деталей из крупногабаритных тяжелых заготовок, когда операции выполняются двумя или тремя рабочими. Кроме того, для выполнения таких операций постоянно требуется общецеховой мостовой кран. Комплексная механизация заготовительных работ обеспечивает резкое сокращение затрат труда, высвобождение общецеховых кранов и значительное облегчение труда рабочих. Комплексная механизация осуществляется по двум направлениям: оснащение универсального технологического оборудования средствами механизации вспомогательных приемов (табл. 2) и внедрение механизированных и автоматических линий, охватывающих ряд технологических операций по изготовлению деталей.

Линии для изготовления деталей сварных конструкций разделяют по виду работ, выполняемых на них, номенклатуре изготовляемых заготовок, признаку непрерывности технологического процесса, схеме компоновки и системе управления. Ниже приведены характеристики типовых линий заготовительного производства.

Линия раскроя рулонного проката предназначена для разматывания рулона, правки и вырезки прямоугольных и трапецеидальных заготовок. Линия имеет следующую техническую характеристику:

Ширина рулона, мм	750—1600
Диаметр рулона, мм:	
наибольший наружный	1800
внутренний	470—630
Наибольшая масса рулона, т	26
Толщина металла, мм	0,65—2
Скорость подачи материала, м/мин	10—80
Наибольший угол поворота ножа, град	30
Наибольшее число ходов ножа в минуту	40
Длина отрезаемой заготовки, мм	300—4000

Линия многономенклатурная, с непрерывным технологическим процессом, с последовательным расположением сблокированных рабочих мест, автоматическая. Линия внедрена на Волжском автомобильном заводе. В аналогичной линии для вырубки фасонных заготовок вместо ножниц установлен пресс простого действия.

Для изготовления гнутых профилей применяют линии профилирования, на которых выполняются разматывание рулона, гибка профиля на профилегибочном стане, отрезка профиля заданной длины, отрезка концов рулонов и сварка концов. Линии профилирования, разработанные НИИТМ (г. Ростов-на-Дону), имеют следующую техническую характеристику:

Ширина рулона, мм	20—200	Размеры получаемой детали, мм:	
Диаметр рулона, мм:		высота	50
наибольший наружный	1000; 1600	длина	600—3600
внутренний	450—600	Число пар валков стана	10; 6
Толщина металла, мм	0,3—2,0	Наибольшая скорость профилирования, м/мин	32; 60

Линии однономенклатурные, с непрерывным технологическим процессом, с последовательным расположением сблокированных рабочих мест, автоматические.

2. Средства механизации универсального заготовительного оборудования

Технологическое оборудование	Средства механизации	Технологическое оборудование	Средства механизации
Листоправильные многовалковые машины	Подающий и приемный рольганги Листоукладчики с электромагнитными или вакуумными захватами для подачи и съема листов Стеллажи для листов	Листогибочные машины трех- и четырехвалковые	Стол загрузки Механизм поддержки листа Механизм поддержки обечаек большого диаметра Механизм сталкивания обечайки Приемный рольганг
Листовые ножницы с наклонным ножом	Рольганг-тележка для подачи листов под ножи Листоукладчик с электромагнитными или вакуумными захватами для подачи листов Тележка для транспортировки нарезаемых деталей Устройство для удаления отходов Стеллажи для листов	Листогибочные прессы и прессы для листовой штамповки крупных заготовок	Подъемный стол для подачи листа в удобное для загрузки положение Листоукладчик с электромагнитными захватами для укладки листа на подъемный стол и удаления заготовки после обработки
Листовые ножницы с наклонным ножом, листогибочные прессы (резка и гибка тонколистового материала)	Листоукладчики с вакуумными захватами Подъемные столы для листов Механизмы подачи листа в процессе гибки	Прессы для листовой штамповки	Правильно-разматывающие установки для подачи рулонного материала к прессам Подъемная гидравлическая платформа для размещения пачек штучных заготовок и подачи их в удобное для загрузки положение Загрузчики штучных заготовок в штампы Механические руки для удаления деталей из зоны штамповки Межоперационные транспортеры
Ножницы для резки фасонного и сортового проката. Трубоотрезные станки	Перегружатели исходного проката, нарезанных заготовок и обрези Подающий и приемный рольганги Механизм мерной резки Направляющее устройство Накопители исходного проката, нарезанных заготовок и обрези		

На линиях дробеметной очистки горячекатаного листового и профильного проката осуществляется подогрев, дробеметная очистка, грунтовка и сушка проката. Линии внедрены на Херсонском судостроительном производственном объединении им. 60-летия Ленинского комсомола и имеют характеристику:

Толщина металла, мм	Св.4	Размер дроби, мм	0,5—1,5
Скорость движения проката через камеры очистки, грунтовки и сушки, м/мин	1—3	Толщина грунта, мкм	18—20
		Удельный расход грунта, г/м²	140

Линии многономенклатурные с последовательным расположением сблокированных рабочих мест, автоматические.

Линии термической резки деталей из листового проката (рис. 1) предназначены для маркировки, вырезки и сортировки фасонных деталей. Линии многономенклатурные, без накопителей, с параллельным расположением рабочих мест, механизированные. Линии внедрены на судостроительных заводах.

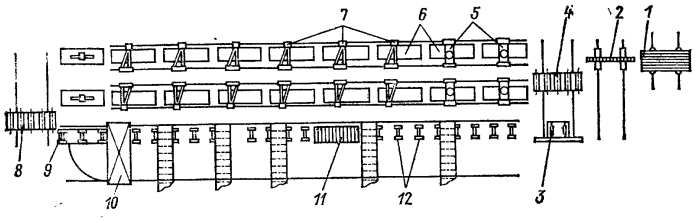


Рис. 1. Схема линии термической резки:

1 — приемник-питатель с горизонтальным шагом; *2* — трансбордер листа; *3* — кантователь-погрузчик; *4* — трансбордер раскроечной рамы; *5* — маркировочные машины; *6* — подъемные столы; *7* — машины термической резки; *8* — выходной трансбордер раскроечной рамы; *9* — поворотная секция возвратного рольганга; *10* — электромагнитный сортировщик; *11* — раскроечная рама; *12* — возвратный рольганг

Линия резки профильного проката на заданную длину, вырубки вырезов и отверстий, маркировки и сортировки деталей, разработанная НПО «Ритм», имеет следующую техническую характеристику:

Наибольшее сечение обрабатываемого профиля:		Число штампов, одновременно устанавливаемых в блоке	6
полособульб	№ 24	Потребляемая мощность, кВт	32
угольник	№ 16	Габаритные размеры, мм:	
полоса, мм	20×200	длина	12 300
Наибольшая скорость подачи заготовки, м/мин	40	ширина	2 100
Наибольшее число знаков в марке	16	высота	9 500
Скорость маркировки деталей, знаков в минуту	60	Масса, т	17,5

Линия многономенклатурная, с последовательным расположением сблокированных рабочих мест, автоматическая.

Линия, приведенная на рис. 2, предназначена для резки труб на заданную длину, очистки наружной поверхности концов на участке длиной 215 мм и внутренней поверхности на глубине 10 мм. Линия внедрена на Подольском машиностроительном заводе им. Орджоникидзе и имеет следующую техническую характеристику:

Диаметр обрабатываемых труб, мм	28, 32, 38	Общая мощность установленных электродвигателей, кВт	66
Толщина стенки труб, мм	3—7,5	Габаритные размеры, мм:	
Наибольшая длина исходной заготовки, мм	8100	длина	39 000
Длина отрезаемых труб, мм	2350—7350	ширина	6 600
Число труб, загружаемых в бункер, шт.	200	высота	2 825
Скорость перемещения труб по рольгангам, м/с	1	Площадь, занимаемая линией, м²	250
Такт, с	30—50	Масса установленного оборудования, т	32,5
		Число рабочих, обслуживающих линию	2

Линия многономенклатурная, с последовательным расположением сблокированных рабочих мест, автоматическая.

Анализ типовых линий заготовительного производства позволяет отметить следующие их особенности. 1. Большинство линий характеризуется многономенклатурным выпуском, что позволяет максимально поднять коэффициент загрузки

и использовать их в крупносерийном, серийном и мелкосерийном производствах. 2. Небольшое число операций по изготовлению деталей позволяет компоновать линии по наиболее экономичной схеме — со сквозным потоком без накопителей

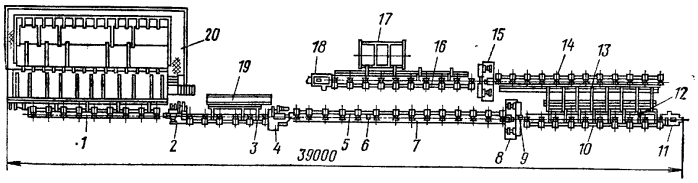


Рис. 2. Схема линии резки и очистки концов труб:

1, 3, 5, 7, 10, 14, 16 — рольганги; *2* и *4* — отрезные автоматы; *6* и *9* — упоры; *8* и *15* — автоматы наружной очистки концов; *11* и *18* — автоматы внутренней очистки концов; *12* — сбрасыватель; *13* — накопитель поперечной подачи; *17* — контейнер готовых труб; *19* — контейнер отходов труб; *20* — бункер исходных заготовок

у рабочих мест и максимально сэкономить производственную площадь, упростить конструкцию оборудования, снизить стоимость линий и трудоемкость изготовляемых на них деталей. 3. В зависимости от объема и вида выполняемых

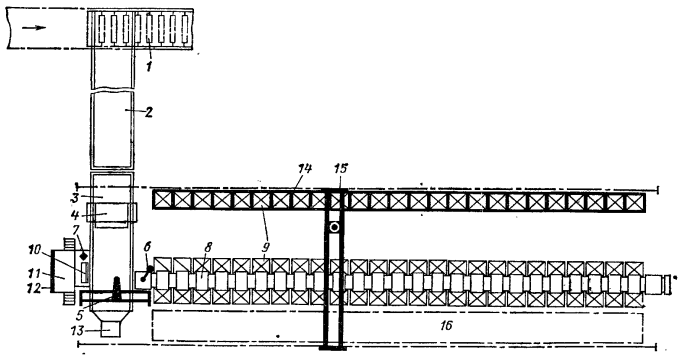


Рис. 3. Схема механизированного склада деталей:

1 — сортировочное устройство; *2* — ленточный горизонтальный конвейер; *3* — ленточный наклонный конвейер; *4* — приемный лоток; *5* — перегружатель; *6* — телевизионная передающая камера; *7* — видеоконтрольное устройство; *8* — тележечный распределитель-конвейер; *9* — контейнер для деталей; *10* — пульт управления; *11* — платформа; *12* — панель счетчиков; *13* — контейнер для отходов; *14* — стеллажи для контейнеров; *15* — кран-штабелер; *16* — площадка для контейнеров

работ линии могут иметь последовательное или параллельное расположение рабочих мест. 4. Большинство линий автоматические, что обеспечивает резкое снижение трудоемкости и облегчение условий труда в заготовительном производстве. 5. Наиболее прогрессивную форму непрерывного технологического процесса имеют линии для изготовления заготовок из рулонного материала.

При изготовлении деталей сварных конструкций значительна трудоемкость комплектации деталей. Механизация этих операций позволяет резко сократить затраты времени на их выполнение. Механизированный склад комплектации деталей (рис. 3) обеспечивает подачу деталей с адресованием, укладку в контейнеры, хранение контейнеров в многоярусных стеллажах, передачу контейнеров на сборочные участки. Наибольшие размеры деталей 1 × 1 м, грузоподъемность крана-штабелера 1 т.

МЕХАНИЗАЦИЯ СБОРОЧНО-СВАРОЧНЫХ РАБОТ

В табл. 3 приведена классификация оборудования для производства сварных конструкций, характеризующая принципиальные направления механизации и автоматизации сварочного производства. Оборудование разделено по назначению и уровню комплексной механизации и автоматизации выполняемых работ. Для расчета уровня $У_2$ комплексной механизации и автоматизации значения коэффициентов $П$ и $т$ приняты по наиболее типичным представителям классов оборудования. Коэффициенты $П$ и $т$ зависят от вида и параметров свариваемых изделий, технологии их изготовления и конструкции создаваемого оборудования; поэтому в каждом конкретном случае значения $П$, $т$ и $У_2$ должны уточняться. Оборудование классов 1, 1а, 1б рассмотрено в гл. 10, оборудование классов II—VII рассмотрено в томе 4 справочника.

3. Классификация и характеристика оборудования для комплексной механизации и автоматизации сварочного производства

Класс оборудования	Название	Коэффициент производительности $П$	Коэффициент $т$ участия оборудования в общем комплексе работ	Уровень комплексной механизации и автоматизации $У_2$, %
	Механическое оборудование			
I	Механическое оборудование для механизации сварки	1,5	0,20	7
Iа	Подъемно-транспортные устройства (местные)	2,0	0,20	10
Iб	Механизированные сборочные устройства и приспособления	2,5	0,20	12
	Сварочное оборудование			
II	Полуавтоматы для дуговой сварки и переносные клещи для контактной сварки	1,5	0,20	7
III	Универсальные станки, машины и установки	3,0	0,20	13
IV	Специализированные станки, машины и установки	4,0	0,25	19
V	Специализированные станки-автоматы или машины-автоматы	6,0	0,30	25
	Сборочно-сварочное оборудование			
VI	Станки, машины и установки обычного типа	3,5	0,40	29
VII	Автоматические станки, машины и установки	8,0	0,50	44
VIII	Механизированные линии	4,0	0,80	60
IX	Автоматические линии	12,0	0,90	83 и более

Механизированные и автоматические линии сварочного производства (классы VIII и IX) разделяют по виду выполняемых работ, номенклатуре изготовляе-

мых изделий, признаку непрерывности технологического процесса, компоновке и системе управления.

По виду выполняемых работ линии разделяют в зависимости от охвата операций процесса производства сварных изделий. Линии могут охватывать весь процесс производства сварного изделия, начиная от изготовления деталей и кончая отделкой готового изделия, или включать только часть операций, например, сборочно-сварочные и отделочные. Комплекс операций, включаемых в линию, зависит от конструкции свариваемого изделия и масштаба производства.

По номенклатуре изготовляемых изделий линии разделяют на однономенклатурные, предназначенные для изделий одного типоразмера, и многономенклатурные для изделий разных типоразмеров с переналадкой или без переналадки

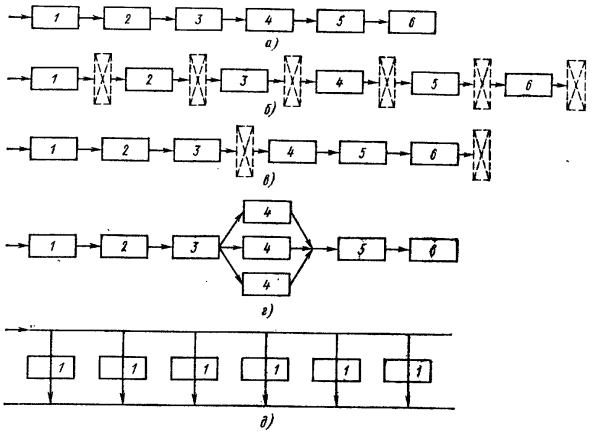


Рис. 4. Классификация поточных линий:

а — с жесткой связью и последовательным расположением рабочих мест; *б* — с гибкой связью и последовательным расположением рабочих мест; *в* — с накопителями между участками и последовательным расположением рабочих мест; *г* — с последовательно-параллельным расположением рабочих мест; *д* — с параллельным расположением рабочих мест; *1—6* — номера рабочих мест

линии. Однономенклатурные линии применяют в массовом производстве, многономенклатурные — в мелкосерийном производстве.

По признаку непрерывности технологического процесса различают линии с непрерывным и прерывистым технологическим процессом. Линии с непрерывным технологическим процессом характеризуются непрерывным воздействием инструмента при непрерывном перемещении объекта обработки. Эти линии отличаются наибольшей производительностью, так как производственный процесс не имеет непроизводительных затрат вспомогательного времени на установку детали, подвод инструмента и другие вспомогательные операции. При прерывистом технологическом процессе воздействие инструмента на обрабатываемую деталь происходит с перерывами, необходимыми для снятия детали после обработки, установки новой детали, подвода инструмента.

По компоновке выделяют линии с жесткой и гибкой связями. На линиях с жесткой связью обрабатываемые изделия перемещаются от одного рабочего места к другому без образования заделов (рис. 4, *а*). Линии с гибкой связью

имеют накопители полуфабрикатов у каждого рабочего места (рис. 4, *б*). Линии с жесткой связью обеспечивают меньшую трудоемкость и длительность производственного цикла в связи с сокращением времени на транспорт изделий. Кроме того, эти линии занимают меньшую производственную площадь. Их оборудование имеет более простую конструкцию, поэтому линии с жесткой связью значительно дешевле линий с гибкой связью. Однако в линиях с жесткой связью неисправность любого механизма влечет за собой остановку работы линии, что является серьезным недостатком этих линий. В связи с этим в многооперационных линиях прибегают к разделению линий на участки из сблокированных рабочих мест, между которыми предусматривают накопители полуфабрикатов (рис. 4, *в*). По пространственному расположению выделяют линии с последовательным (рис. 4, *а—в*), последовательно-параллельным (рис. 4, *г*) и параллельным (рис. 4, *д*) расположением оборудования.

Ниже приведены характеристики типовых линий сварочного производства, сгруппированные по видам сварных конструкций (полотнища, трубы, балки, решетчатые конструкции, корпусные конструкции, узлы автомобилей).

Линия полотнищ сварных крупногабаритных резервуаров вместимостью 5000—20 000 м³ (стр. 224). На линии производится сборка полотнища, автоматическая сварка под флюсом наружных швов, поворот полотнища на обратную сторону, автоматическая сварка под флюсом с обратной стороны полотнища, контроль качества и герметичности, сворачивание готового полотнища в рулон, съем рулона и перекатка на транспортную платформу. Линия внедрена на Куйбышевском заводе резервуарных металлоконструкций и имеет следующую техническую характеристику:

Размеры исходных листов, мм:	
длина	5990 ± 1,5
ширина	1490 ± 1,5
толщина	4—16
Ширина свариваемых полотнищ, мм	11 920—17 880
Усилие прижима кромки листов к медной подкладке, т/м	4
Мощность электродвигателей, кВт:	
установленная	80
сворачивания полотнища в рулон	55
Габаритные размеры линии, мм:	
длина	50 000
ширина	21 000
высота	6 300

Линия сварки боковых стен вагонов предназначена для контактной точечной приварки обвязок, угловых и промежуточных стоек к обшивке боковых стен. Линия разработана Уральским вагоностроительным заводом им. Дзержинского и имеет следующую техническую характеристику:

Производительность, боковых стен в год	20 000
Габаритные размеры свариваемого изделия, мм:	
длина	13 000
ширина	2 100
Толщина свариваемых деталей, мм	4 + 4; 4 + 5; 4 + 6; 4 + 9; 4 + 10
Число точек:	
продольных, свариваемых на первой позиции линии (приварка верхней и нижней обвязок к обшивке)	274
поперечных, свариваемых на второй позиции линии (приварка угловых и промежуточных стоек к обшивке)	352
Число агрегатов для приварки:	
верхней и нижней обвязок	8
угловых стоек	2
промежуточных стоек	6
Число пар электродов на каждом сварочном агрегате	2
Номинальная мощность комплекса сварочных агрегатов, кВА	9 600
Скорость изделия, мм/с:	
при рабочем перемещении	100
при маршевом перемещении	До 300
Мощность электродвигателя гидравлического привода транспортирующих устройств, кВт	30×2
Габаритные размеры линии, мм:	
длина	32 000
ширина	12 000

Линия прямошовных труб, изготовляемых из одного листа (рис. 5). На линии производится подготовка листа (правка, строгание продольных кромок); формовка трубной заготовки; сборка кромок и одновременная сварка наружного шва; сварка внутреннего шва; контроль и ремонт швов; отделка трубы (обрезка

концов, снятие усиления внутреннего шва по концам трубы, очистка внутренней поверхности, калибровка, гидроиспытание, торцовка, приемка, клеймение и маркировка трубы). Линия работает на Челябинском трубопрокатном заводе и имеет слудующую техническую характеристику:

Размеры изготовляемых труб, мм:	
диаметр	529; 720; 820
толщина стенки	6—12
длина	До 12 000
Скорость двухдуговой автоматической сварки под флюсом, м/ч:	
наружный шов	230—160
внутренний шов	190—135
Производительность линии при изготовлении труб ⌀ 820 мм, т/год	800 000

Линия прямошовных труб, изготовляемых из двух листов. На линии производится подготовка листов (правка, селекция, строгание продольных кромок, очистка); формовка полуцилиндрических заготовок; сборка трубы и сварка технологического шва; ремонт технологического шва и приварка технологических

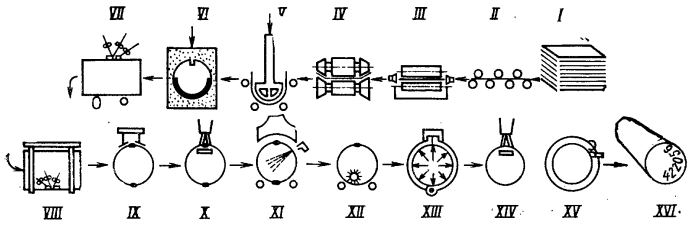


Рис. 5. Схема технологического потока производства прямошовных труб:

I — склад листового проката; *II* — правка; *III* — строгание кромок; *IV* — подгибка кромок; *V* — предварительная формовка; *VI* — окончательная формовка; *VII* — сварка наружных швов; *VIII* — сварка внутренних швов; *IX* — ультразвуковой контроль швов; *X* — рентгенодефектоскопия швов; *XI* — плазменная резка концов труб; *XII* — фрезерование внутренних швов (концов); *XIII* — экспандирование и гидроиспытание; *XIV* — рентгенодефектоскопия концевых участков швов; *XV* — снятие фаски; *XVI* — маркировка и отгрузка труб

планок; трехдуговая автоматическая сварка под флюсом внутренних, а затем наружных швов; ультразвуковой и рентгеновский контроль швов; ремонт швов; отделка трубы (обрезка концов, снятие усиления внутренних швов по концам трубы, очистка внутренней поверхности, калибровка, гидроиспытание, торцовка, окончательная приемка, клеймение и маркировка труб). Линия внедрена на Харцизском трубном заводе и имеет следующую техническую характеристику:

Размеры изготовляемых труб, мм:		Скорость сварки, м/ч:	
диаметр	1220; 1420; 1620	технологический шов	150—130
толщина стенки	11—20	внутренний и наружный рабочие швы	165—120
длина	До 12 000		

Линия спиральношовных труб (стр. 234). На линии производится разматывание рулона, правка, отрезка концов рулонов и автоматическая сварка концов, обрезка боковых продольных кромок, формовка трубы, непрерывная сварка внутреннего технологического шва, наружного шва и внутреннего рабочего шва, термическая обработка шва, отрезка трубы, очистка внутренней поверхности, торцовка, гидроиспытание, исправление дефектов, окончательная приемка, клеймение и маркировка труб. Линия работает на Ждановском металлургическом заводе им. Ильича и имеет следующую техническую характеристику:

Размеры изготовляемых труб, мм:		наружный диаметр рулона	До 1500
диаметр	1020	Скорость автоматической сварки под флюсом наружных и внутренних швов, м/ч	90—108
толщина стенки	10,6	Производительность линии, т/год	75 000
длина	10 000—12 000		
Размеры исходного рулонного проката, мм:			
ширина рулона	1450		

На Волжском трубном заводе применено универсальное и более совершенное оборудование для производства спиральношовных труб и, в частности, предусмотрены точная поперечная обрезка концов рулонов для их стыковки, а также фрезерование продольных кромок после резки дисковыми ножницами.

Линия плоскосворачиваемых труб. На линии производится разматывание двух рулонов ленточной стали, очистка четырех плоскостей (полосок) у свариваемых кромок, правка лент и подача их в сварочную машину, сварка сдвоенной роликовой машиной обеих кромок одновременно, правка и продвижение сварных лент плоской трубы, исправление саблевидности трубы, контроль качества швов, сворачивание плоской трубы в рулон. Линия имеет следующую техническую характеристику:

Размеры исходного рулонного проката, мм:		Диаметр труб, мм	75—150
ширина	130—250	Длина труб, сворачиваемых в один рулон, м	До 300
толщина	1,5—3,0	Скорость изготовления, м/мин	До 3,5

Линия сварных крупнопрофильных двутавровых балок предназначена для обработки листов и полос (правка, резка торцовых и продольных кромок, стыковка стенок и полок до необходимой длины), сборки балок, сварки угловых швов, очистки швов, правки балок, фрезерования торцов. Линия работает на Днепропетровском заводе металлоконструкций им. Бабушкина и имеет следующую техническую характеристику:

Размеры изготовляемых балок, мм:		Скорость автоматической сварки под флюсом угловых швов балок, м/ч	120—210
высота	600—2000	Производительность линии:	
ширина	200—600	т/год	67 000
длина	8500—12000	балок в час	5
толщина стенок	6—12	Длина линии, м	239
толщина полок	10—40		

Линия коробчатых пролетных балок электромостовых кранов. На линии производится сборка и сварка вертикальных стенок и поясов, рентгеновский контроль стыковых швов, установка и приварка диафрагм к верхнему поясу, установка и прихватка вертикальных стенок, приварка диафрагм к вертикальным стенкам, установка нижнего пояса и прихватка к вертикальным стенкам, приварка вертикальных стенок к верхнему и нижнему поясам. Линия работает на Узловском машиностроительном заводе им И. И. Федунца и имеет следующую техническую характеристику:

Размеры свариваемых балок, мм:		толщина поясов	До 16
высота	До 2000	длина	« 34 500
ширина	« 850	Производительность линии, балок в год	1600
толщина вертикальных стенок	« 6	Площадь, занимаемая линией, м²	2800

Линия арматурных сеток (рис. 6). На линии производится правка продольных проволок при их подаче и размотке барабанов, подача поперечных проволок, рельефная сварка в местах пересечений продольных и поперечных проволок, перемещение сетки на шаг с одновременной подачей продольных проволок из

барабанов, отсчет числа приваренных поперечных проволок и отрезка сетки заданной длины. Линия имеет следующую техническую характеристику:

Ширина сетки, мм	До 2350	Производительность линии, метров сетки в час при диаметре проволок:	
Наибольшее число продольных проволок	24	8+12 мм	120
Диаметр проволок, мм:		3+3 мм	240
продольных	3—12	Наибольшая потребляемая мощность сварочной машиной, кВА	900
поперечных	3—8		
Расстояние между осями продольных или поперечных проволок, мм	100—300		

Линия стальных отопительных радиаторов (стр. 244). На линии производится разматывание двух рулонов, правка, выдавливание (штамповка) каналов, приварка двух штуцеров (методом стыковой контактной сварки оплавлением)

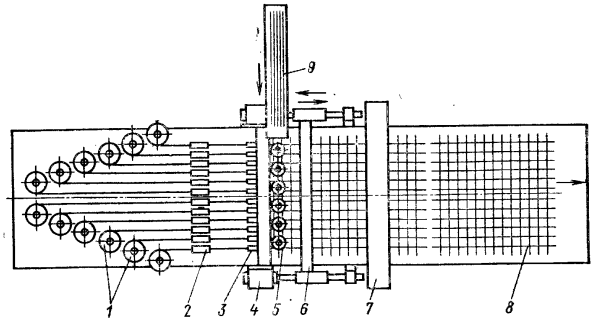


Рис. 6. Схема линии арматурных сеток:

1 — барабаны продольных проволок сетки; *2* — правильные устройства; *3* — направляющая втулка; *4* — пневмоцилиндр перемещения каретки; *5* — пневмоцилиндры опускания электродов; *6* — каретка перемещения сетки на шаг; *7* — гильотинные ножницы; *8* — отрезанный участок сетки; *9* — бункер-питатель поперечных проволок

и пробивка отверстий по приваренным штуцерам, точечная сварка двух лент в промежутках между каналами, шовная сварка одновременно двух продольных швов, шовная сварка двух пар поперечных швов, резка ленты на отдельные радиаторы, обрезка продольных кромок радиаторов, гидравлические испытания. Линия внедрена на Новокузнецком заводе «Сантехлит», Братском заводе отопительного оборудования и имеет следующую техническую характеристику:

Размеры исходного рулонного проката, мм:		Число машин для контактной сварки	4
ширина рулона	600—650	Мощность сварочных машин, кВА:	
толщина	1,5	установленная	3360
Длина панели радиатора, мм	545; 694; 844; 1018; 1190	потребляемая одновременно	1540
Производительность линии, радиаторов в год	500 000	Суммарная установленная мощность электроприводов прочего оборудования, кВт	110
Скорость движения ленты, м/мин	1,5—2,0	Число рабочих, обслуживающих линию	2

Линия большегрузных шахтных вагонеток. На линии производится сборка и автоматическая сварка под флюсом плоских заготовок боковин; одновременная гибка боковин, сборка их с лобовинами и автоматическая сварка под флюсом

двух соединяющих криволинейных швов; приварка обвязочной полосы к кузову; сборка кузова с рамой и приварка рамы. Линия работает на Дружковском машиностроительном заводе им. 50-летия Советской Украины и имеет следующую техническую характеристику:

Производительность линии, вагонеток в смену	76
Габаритные размеры линии, м:	
длина	122
ширина	16,5

Линия кабин грузовых автомобилей ЗИЛ-130 и ЗИЛ-131 (рис. 7). На линии производится сборка кабины из шести узлов (передняя часть, пол, двери, каркас и панель задней части, панель крыши) и прихватка подвесными точечными машинами, сварка кабины на многоэлектродных точечных машинах. Линия внедрена на Московском автозаводе им. И. А. Лихачева и имеет следующую техническую характеристику:

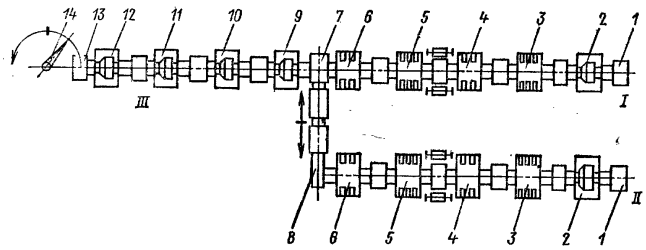


Рис. 7. Схема линии кабин грузовых автомобилей ЗИЛ-130 и ЗИЛ-131:

1 — конвейер продольной подачи; *2* — рабочее место сборки пола с передней частью кабины, сварки швов на двухпозиционной многоэлектродной сварочной машине; *3* — рабочее место для установки и прихватки дверей; *4* — рабочее место для установки и прихватки каркаса задней части; *5* — рабочее место для установки и прихватки панели задней части; *6* — рабочее место для установки и прихватки панели крыши; *7* — загрузочное место; *8* — конвейер поперечной подачи; *9—12* — многоэлектродные сварочные машины для сварки кабины; *13* — рабочее место доварки кабины дуговой сваркой; *14* — манипулятор переустановки кабин на отделочный конвейер; *I, II* — механизированные сборочные участки линии; *III* — автоматический сварочный участок линии

Производительность линии, кабин в час	60
Число точек, свариваемых на линии:	
при сборке кабины	184
при сварке кабины	274
Число многоэлектродных сварочных машин	6

Линия колес легковых автомобилей (рис. 8). На линии производится размотка рулона, правка, отрезка полосы, гибка полосы в кольцо, стыковая контактная сварка кольца, срезание грата, предварительная формовка, профилирование и калибровка обода, пробивка вентильного отверстия, запрессовка диска в обод, контактная сварка диска с ободом в восьми точках, контроль качества. Линия работает на Волжском автомобильном заводе и имеет следующую техническую характеристику:

Номинальный диаметр обода, дюймы	11—18	Производительность линии, колес/ч	720
Внутренний диаметр, мм:		Номинальная мощность машины, кВА:	
наименьший	240	стыковой сварочной	400
наибольший	460	многоточечной сварочной (четыре трансформатора)	530
Наибольшая ширина обода, мм	180	Размеры линии, м:	
Наибольшая толщина полосы, мм	3,5	длина	88
Ширина полосы, мм	125—230	ширина	9

Линия колес грузовых автомобилей ЗИЛ-130. На линии производится напрессовка обода на диск, автоматическая сварка в CO_2 диска с ободом, пробивка вентильного отверстия и заминание острых кромок его, зачистка, контроль ка-

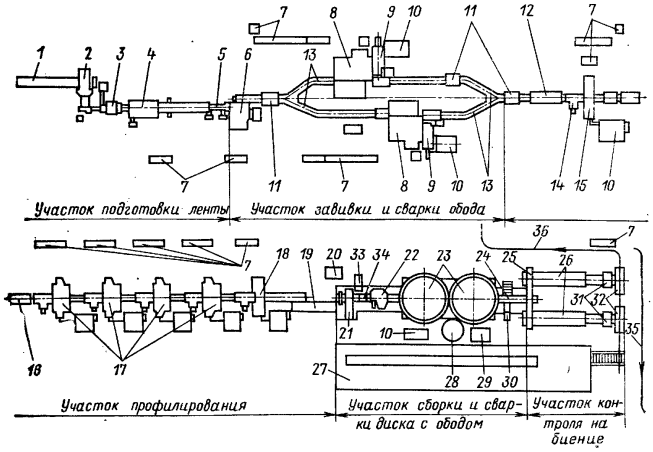


Рис. 8. Схема линии колес легкового автомобиля (фирма „Kiserling", ФРГ):

1 — накопитель рулонов; *2* — рулонница; *3* — машина для предварительной рихтовки ленты; *4* — правильно-отрезная машина; *5* — магазин-накопитель; *6* — машина для завивки обода; *7* — аппаратные шкафы; *8* — машины для стыковой сварки; *9* — машины для срезки грата; *10* — гидростанции; *11* — подъемники; *12* — охлаждающий желоб; *13* — распределительные желоба; *14* — подаватель заготовок; *15* — машина для предварительной формовки обода; *16* — транспортный желоб; *17* — профилировочные машины; *18* — машина для калибровки; *19* — ленточный конвейер; *20* — пульт управления участка сборки-сварки; *21* — сталкиватель; *22* — позиция пробивки вентильного отверстия и запрессовки диска в обод; *23* — многоточечные сварочные машины; *24* — шаговый конвейер; *25* — распределительный диск; *26* — ленточные конвейеры; *27* — эстакада; *28* — ресивер; *29* — компрессор; *30* — сталкиватель; *31* — установка для контроля торцового биения; *32* — устройство для выгрузки колес; *33* — место складирования дисков; *34* — позиция узловой сборки; *35* — подвесной конвейер для подачи колес в окраску; *36* — подвесной конвейер для подачи колес на участок исправления брака

чества, исправление брака, навеска готовых колес на конвейер окраски. Линия разработана НИИТАвтопромом и имеет следующую техническую характеристику:

Производительность линии, колес/ч	300
Количество технологического оборудования	23
Размеры линии, м:	
длина	43,8
ширина	5
Число рабочих, обслуживающих линию	10

Техническая характеристика линий сборки и сварки узлов автомобиля «Жигули» приведена в табл. 4.

Анализ типовых линий сварочного производства позволяет отметить следующее.

1. Линии с наибольшим уровнем комплексной механизации и автоматизации, охватывающие полный комплекс операций производства сварных изделий,

начиная от заготовки и кончая отделкой, характерны для массового выпуска простых по конструкции изделий с небольшим числом деталей. В эту группу входят линии прямошовных, спиральношовных и плоскосворачиваемых труб, двутавровых балок, стальных отопительных радиаторов, арматурных сеток, колес легковых автомобилей. Для многоэлементных сложных сварных конструкций применяют сборочно-сварочные линии с организацией изготовления деталей на отдельных линиях заготовительного производства.

4. Техническая характеристика линий сборки и сварки узлов автомобиля «Жигули»

Параметр	Линия пола (рис. 9)	Линия боковин	Линия крыши	Линия крышки багажника и капота*	Линия дверей
Производительность, узлов/ч	48	42	42	425	425
Количество сварочного оборудования, ед.	42	8	4	4 (3)	20
в том числе:					
многоточечные машины	20	8	4	4 (3)	8
подвесные машины	14	—	—	—	6
Установленная мощность сварочного оборудования, кВА	23 852	7475	3482	1323 (630)	3030
Число свариваемых точек, шт.	1 582	372	222	58 (20)	87
Длина линии, м	154	48,5	21,5	90	98
Ширина линии, м	7,5	4,7	5,0	12	14

* Данные по изготовлению крышки багажника приведены в скобках.

2. Механизированные линии применяют как в массовом, так и в многономенклатурном мелкосерийном производстве. Многономенклатурными являются линии коробчатых и двутавровых балок, полотнищ резервуаров и др.

3. Линии производства сварных конструкций могут иметь жесткую и гибкую связь между рабочими местами. Линии с жесткой связью без накопителей у рабочих мест создаются для крупногабаритных сварных изделий с небольшим числом позиций, например, линии боковых стен вагона, боковин и пола автомобиля. Большинство линий с жесткой связью представляют собой многопозиционные комбинированные машины: линия полотнищ резервуаров, спиральношовных и плоскосворачиваемых труб, отопительных радиаторов, арматурных сеток. Многопозиционные линии обычно имеют накопители между отдельными участками сблокированных рабочих мест.

4. Наибольшее распространение в сварочном производстве находят линии с последовательным расположением рабочих мест с незамкнутым и замкнутым потоком. В большинстве случаев эти линии имеют сквозной транспорт, при котором не требуются сложные передаточные механизмы изделий с конвейера на рабочие позиции. Линии с последовательно-параллельным расположением рабочих мест применяют в тех случаях, когда невозможно синхронизировать все операции потока. В этом случае на определенном участке линия разветвляется на несколько параллельных ветвей, что позволяет сохранить большую длительность операций на этих ветвях. Примерами таких линий являются линии прямошовных труб, колес легковых автомобилей, кабин грузовых автомобилей. Линии с параллельным расположением оборудования имеют одинаковые машины, соединенные общим конвейером для транспортировки свариваемых изделий. Эти линии применяют при массовом выпуске малогабаритных изделий, изготовляемых на полуавтоматах или автоматах, выполняющих одинаковый объем операций.

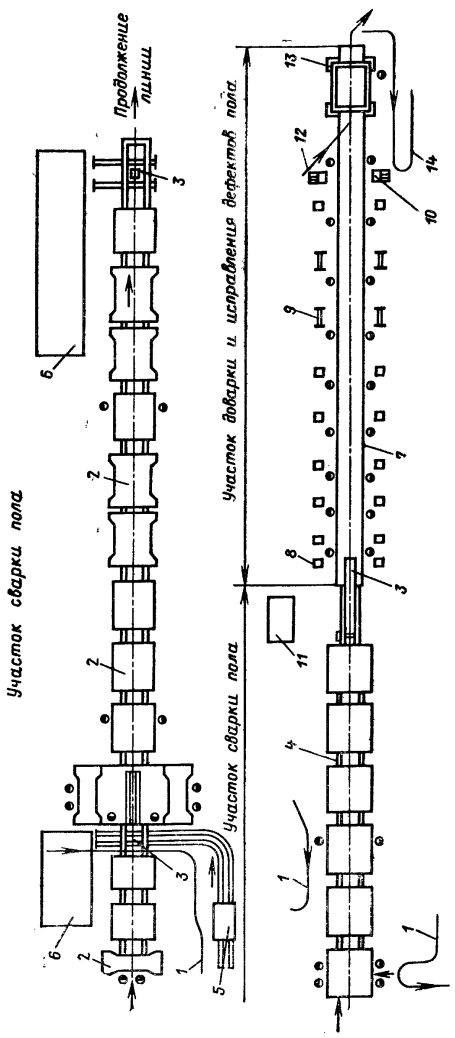


Рис. 9. Схема линии пола автомобиля ВАЗ-2101 (фирма „Fiat", Италия):

1 — подвесные конвейеры для подачи деталей и узлов; *2* — многоточечные сварочные машины; *3* — посты перегрузки узлов; *4* — транспортеры; *5* — тележка для подачи деталей; *6* — места для складирования межоперационных заделов; *7* — пластинчатый конвейер; *8* — подвесные сварочные машины; *9* — посты газовой сварки; *10* — установка для нанесения уплотнительной мастики; *11* — приспособление для контроля размеров пола; *12* — подвесной толкающий конвейер; *13* — опускная секция; *14* — подвесной конвейер подачи передних крыльев.

5. Наиболее прогрессивную форму непрерывного технологического процесса имеют линии изготовления сварных изделий из рулонного проката; это линии спиральношовных и плоскосворачиваемых труб и отопительных радиаторов.

6. К автоматизированным относятся линии спиральношовных и плоскосворачиваемых труб, стальных отопительных радиаторов, арматурных сеток, боковых стен вагонов, а также узлов автомобилей.

Возможности комплексной автоматизации сварных конструкций значительно расширяются в связи с созданием промышленных роботов. Сварочные роботы позволяют автоматизировать операции, которые до последнего времени либо не поддавались механизации, либо их механизация оказалась экономически нецелесообразной. Так, роботы находят эффективное применение при сварке коротких и труднодоступных швов, а также при сварке изделий в условиях мелкосерийного производства. Наряду с этим роботы позволяют освободить человека от монотонного, тяжелого, утомительного, вредного и опасного труда.

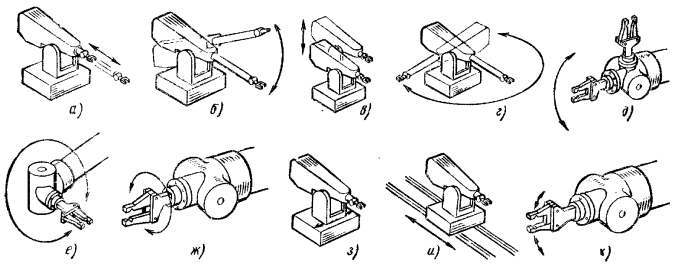


Рис. 10. Виды движений робота:

а — выдвижение руки; *б* — наклон руки относительно горизонтальной плоскости; *в* — вертикальное перемещение руки; *г* — поворот руки; *д* — сгибание кисти; *е* — поворот кисти; *ж* — вращение захвата; *з* — поперечное перемещение корпуса; *и* — продольное перемещение корпуса; *к* — разжим-зажим захвата

Сварочный робот состоит из собственно робота и пульта управления. Робот имеет подвижную руку и шарнирную кисть, в захвате которой закрепляются сварочные клещи (при контактной точечной сварке) или сварочная горелка (при дуговой сварке). Сварочные роботы имеют от четырех до шести движений (степеней свободы). Большинство сварочных роботов имеет пять движений; три движения руки и два движения кисти. Комбинирование этих движений позволяет установить сварочные клещи или горелку в любых направлениях и положениях в пределах зоны действия робота. Набор видов движений (рис. 10) при одинаковом их числе может быть различным и зависит от конструкции робота. Движения робота осуществляются с помощью электрогидравлических приводов. Наибольшее распространение получили две конструктивные схемы сварочных роботов (табл. 5): 1) с перемещением руки в сферической системе координат типа «Unimate» (США, рис. 11); 2) с перемещением руки в прямоугольной системе координат типа «Nachi» (Япония, рис. 12). Для управления роботами используются позиционная (от точки к точке), контурная (плавная) или смешанная системы, обеспечивающие движение исполнительного органа одновременно по нескольким или всем координатам. Программоносителями служат магнитная лента, магнитный барабан, перфолента. Запись программы осуществляется двумя способами: 1) при обучении робота при первом проходе, выполняемом вручную или с помощью клавишного командного устройства; 2) с применением внешней системы и использованием вычислительной техники.

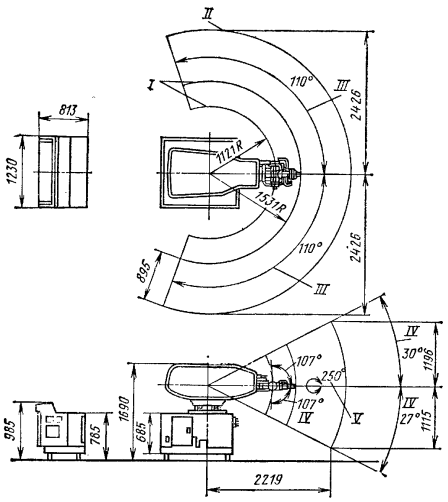


Рис. 11. Схема робота типа «Unimate»:

I — исходное положение руки; *II* — максимальное выдвижение руки; *III* — поворот руки; *IV* — наклон руки (30° + + 27°), сгибание кисти (107° + 107°); *V* — вращение захвата

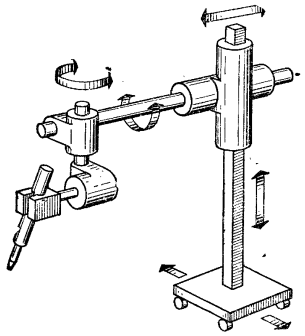


Рис. 12. Схема робота типа «Nachi»

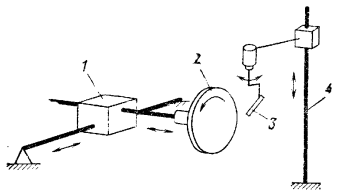


Рис. 13. Схема робота «Shin Meiwa»:

1 — манипулятор для свариваемого изделия; *2* — планшайба; *3* — сварочная горелка; *4* — манипулятор сварочной горелки

5. Техническая характеристика сварочных роботов типа «Unimate» и «Nachi»

Параметр	«Unimate» W 2030 (для контактной точечной сварки)	«Nachi» 4500-A W (для дуговой сварки в среде защитного газа)	Параметр	«Unimate» W 2030 (для контактной точечной сварки)	«Nachi» 4500-AW (для дуговой сварки в среде защитного газа)
Выдвижение руки:			Вращение захвата:		
мм	895	760	градусы	250	200
мм/с	625	3—250	град/с	110	3—90
Вертикальное перемещение руки:			Грузоподъемность, кг	15*	10
мм	—	760	Точность позиционирования, мм	± 1,0	± 0,5
мм/с	—	3—250	Тип системы управления	Позиционная	Позиционная с регулировкой пути и скорости
Линейное перемещение корпуса:					
мм	—	1200			
мм/с	—	3—250			
Наклон руки относительно горизонтальной плоскости:			Число программируемых точек	512	3136
градусы	57	—	Габаритные размеры, мм:		
град/с	30	—	длина	1320	2800
Поворот руки:			ширина	1220	1700
градусы	220	—	высота	1640	1900
град/с	100	—	Масса, кг	1800	1350
Сгибание кисти:					
градусы	214	200			
град/с	110	3—90			

* Сварочный трансформатор вмонтирован в подвижный корпус робота.

Примечание. Число внешних подключений (прием/передача) 6/6.

Сварочные роботы используют в виде отдельно стоящего оборудования и в автоматических линиях. Например, в автоматической линии контактной точечной сварки кузовов легковых автомобилей установлено 25 роботов типа «Unimate». В некоторых случаях целесообразно разделение функций между механизмом перемещения сварочной горелки и манипулятором, служащим для перемещения свариваемых изделий. При этом оба устройства работают совместно по единой программе (рис. 13). В сварочном производстве роботы можно использовать также в качестве транспортных средств, выполняющих установку и снятие свариваемых изделий и работающих в сочетании со специализированными сварочными автоматами.

В настоящее время используются роботы первого поколения, работающие по заданной жесткой программе. Следующее второе поколение роботов будет обладать «техническим» зрением и осязанием, и их движения будут совершаться в зависимости от окружающей обстановки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гитлевич А. Д., Этингоф Л. А.** Механизация и автоматизация сварочного производства. М., Машиностроение, 1972. 280 с.
2. **Инструкция о порядке** составления и представления отчета о производстве и механизации сварочных и наплавочных работ по форме № 1-НТ (сварка). М., Статистика, 1971.
3. Сенбо **П. И.** Комплексная механизация и автоматизация сварочного производства. Киев, Техника, 1974. 416 с.
4. Сенбо **П. И.** Комбинированные машины для сварочного производства. Киев, Наукова думка. 1975.

Глава 12

ДЕФОРМАЦИИ, НАПРЯЖЕНИЯ И ПЕРЕМЕЩЕНИЯ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ СВАРКЕ КОНСТРУКЦИЙ

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ПОЛОЖЕНИЯ

Оси координат. В теории сварочных деформаций и напряжений принято использовать расположение осей координат, показанное на рис. 1. Ось OX направлена вдоль шва, ось OY — поперек шва в плоскости пластины, ось OZ — поперек шва в направлении толщины. Соответственно различают деформации ε_x, ε_y, ε_z, γ_{xy}, γ_{yz}, γ_{zx}, напряжения σ_x, σ_y, σ_z, τ_{xy}, τ_{yz}, τ_{zx} и перемещения точек тела u — по оси OX; v — по оси OY; w — по оси OZ.

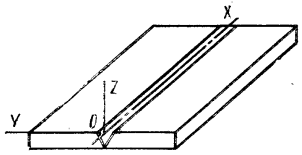


Рис. 1. Расположение координатных осей

Деформации металла при сварке. Расширение и сокращение металла вследствие неравномерного нагрева, охлаждения и структурных превращений являются основными причинами сварочных деформаций. Различают следующие виды деформаций: а) температурные деформации $\varepsilon_\alpha = \alpha T$, где α — коэффициент температурного удлинения, $1/^\circ$ С; T — изменение температуры точки тела, $^\circ$ С; б) наблюдаемые деформации $\varepsilon_н$ и $\gamma_н$, характеризующие изменение размеров тела — линейные и угловые; в) собственные (внутренние) деформации, которые состоят из упругих $\varepsilon_{упр}$, $\gamma_{упр}$ и пластических $\varepsilon_{пл}$, $\gamma_{пл}$ деформаций. Деформации связаны между собой следующими соотношениями:

$$\varepsilon_н = \varepsilon_{упр} + \varepsilon_{пл} + \varepsilon_\alpha; \quad (1)$$

$$\gamma_н = \gamma_{упр} + \gamma_{пл}. \quad (2)$$

Уравнения (1) и (2) могут быть записаны для различных осей и плоскостей. Если до протекания какого-либо процесса возникли начальные деформации ε_0 и γ_0, вызванные предшествующими пластическими деформациями, то уравнения (1) и (2) преобразуются в следующий вид:

$$\varepsilon_н = \varepsilon_{упр} + \varepsilon_{пл} + \varepsilon_\alpha + \varepsilon_0; \quad (3)$$

$$\gamma_н = \gamma_{упр} + \gamma_{пл} + \gamma_0. \quad (4)$$

Напряжения при сварке. Напряжения при сварке являются следствием упругих деформаций тела и связаны с ними следующими зависимостями:

$$\left.\begin{aligned}
\sigma_x &= \frac{\mu E\,(\varepsilon_{x_{упр}} + \varepsilon_{y_{упр}} + \varepsilon_{z_{упр}})}{(1+\mu)(1-2\mu)} + \frac{E}{1+\mu}\,\varepsilon_{x_{упр}};\\
\sigma_y &= \frac{\mu E\,(\varepsilon_{x_{упр}} + \varepsilon_{y_{упр}} + \varepsilon_{z_{упр}})}{(1+\mu)(1-2\mu)} + \frac{E}{1+\mu}\,\varepsilon_{y_{упр}},\\
\sigma_z &= \frac{\mu E\,(\varepsilon_{x_{упр}} + \varepsilon_{y_{упр}} + \varepsilon_{z_{упр}})}{(1+\mu)(1-2\mu)} + \frac{E}{1+\mu}\,\varepsilon_{z_{упр}};
\end{aligned}\right\} \quad (5)$$

$$\tau_{xy} = G\gamma_{xy_{упр}}; \quad \tau_{yz} = G\gamma_{yz_{упр}}; \quad \tau_{zx} = G\gamma_{zx_{упр}}, \quad (6)$$

где E, G и μ — соответственно модули упругости 1-го и 2-го рода и коэффициент Пуассона, в общем случае зависящие от температуры. В отличие от напряжений и деформаций, создаваемых нагрузками, собственные деформации и напряжения существуют в теле при отсутствии внешних сил. Собственные напряжения (рис. 2) классифицируют в зависимости: а) от причины, их вызвавшей; б) от периода времени существования; в) от степени многоосности; г) от объемов, в которых они взаимно уравновешены. Собственные напряжения 1-го рода всегда уравновешены в пределах любого сечения, полностью пересекающего тело.



Рис. 2. Классификация собственных напряжений

Перемещения при сварке. Наблюдаемые деформации вызывают перемещения отдельных точек сварной конструкции. Они связаны между собой следующими зависимостями:

$$\varepsilon_{xп} = \frac{\partial u}{\partial x}; \quad \varepsilon_{yп} = \frac{\partial v}{\partial y}; \quad \varepsilon_{zп} = \frac{\partial w}{\partial z}; \quad (7)$$

$$\gamma_{xyн} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}; \quad \gamma_{zxп} = \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x}; \quad \gamma_{yzн} = \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y}. \quad (8)$$

Перемещения элементов сварных конструкций обычно характеризуют прогибами f (рис. 3, *а*), углами поворота β (рис. 3, *б*), укорочениями Δ (рис. 3, *в*), величинами w выхода точек из плоскости (рис. 3, *г*) и др.

Теплофизические и механические свойства металлов при высоких температурах. Теплофизические свойства металлов (коэффициент теплопроводности λ,

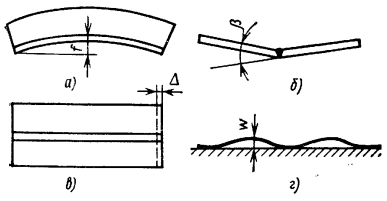


Рис. 3. Виды перемещений в элементах сварных конструкций

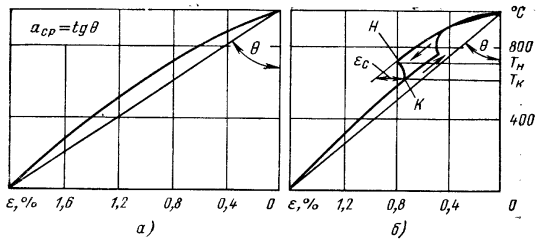


Рис. 4. Характерные дилатограммы сталей:
а — аустенитной; *б* — перлитной

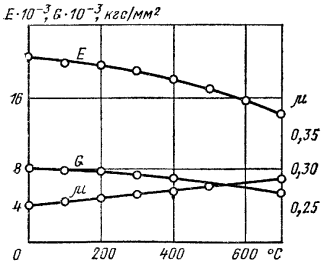


Рис. 5. Зависимости E, G и μ от температуры для стали Ст3

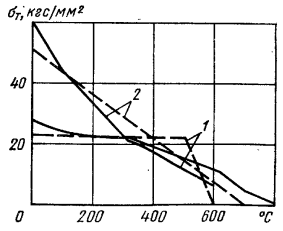


Рис. 6. Зависимость $\sigma_т$ от температуры для некоторых материалов:
1 — низкоуглеродистая сталь; *2* — титановый сплав; — — действительные зависимости — — — — схематизированные зависимости

теплоемкость $c\gamma$ и коэффициент температуропроводности a) необходимы для определения температурных полей при расчетах сварочных деформаций и напряжений. Их обычно выбирают средними, ориентируясь на некоторую условную температуру (табл. 1). Коэффициенты линейного расширения α также принимают средними в некотором диапазоне температур. При более точных расчетах напряжений, а также в случае определения временных деформаций и напряжений используют дилатограммы (рис. 4), полученные при термических циклах, соответствующих определенным точкам сварного соединения. Положение точек начала $T_н$ и конца $T_к$ структурных превращений зависит от химического состава металла, скорости охлаждения и напряженно-деформированного состояния.

1. Теплофизические коэффициенты для некоторых металлов

Материал	$\alpha\cdot10^6$, 1/°C	$T_{ср}$, °C для λ, $c\gamma$, a	λ, Дж/(см·с·°C)	$c\gamma$, Дж/(см³·°C)	a, см²/с
Стали:					
низкоуглеродистые и низколегированные	12—16 / 16,5—17*	500—600	0,38—0,42	4,9—5,2	0,075—0,09
аустенитные хромоникелевые	16—20	600	0,25—0,33	4,4—4,8	0,053—0,07
Алюминий	23—27	300	2,7	2,7	1,0
Технический титан	8,5	700	0,17	2,8	0,06

* Средний коэффициент линейного расширения α в диапазоне температур 0—1000° С, при определении которого исключено сокращение металла вследствие структурного превращения.

Типичные зависимости модулей упругости E, G и коэффициента Пуассона μ от температуры представлены на рис. 5. В ряде расчетных методов материал рассматривают как идеально упругопластический. Зависимости предела текучести от температуры для некоторых металлов представлены на рис. 6. В процессе сварки металл испытывает сложное воздействие изменяющейся температуры и деформации. При этом возникают ползучесть, упрочнение и разупрочнение металла. Для определения свойств металла в условиях сложного термодеформационного цикла сварки получают серии термодеформограмм — зависимости эквивалентного напряжения от эквивалентной деформации при одновременном изменении температуры по термическому циклу сварки.

СВАРОЧНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ И НАПРЯЖЕНИЯ И МЕТОДЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Существуют расчетные и экспериментальные методы определения временных и остаточных сварочных напряжений и деформаций. Из приближенных методов наиболее известны методы, разработанные Г. А. Николаевым и Н. О. Окерблом.

В графорасчетном методе, разработанном Г. А. Николаевым, приняты некоторые допущения.

1. При сварке пластин достигается предельное температурное состояние.
2. Возникающие напряжения одноосны; поперечные сечения не искривляются.
3. Диаграмма металла соответствует диаграмме идеально упругопластического тела; принимается схематизированная зависимость предела текучести от температуры (рис. 6). Модуль упругости E от температуры не зависит. Метод предусматривает определение напряжений в двух поперечных сечениях; времен-

ных — в сечении *1—1* (рис. 7, *б*), соответствующем наибольшей ширине изотермы 600° С (для сталей); остаточных — в сечении *2—2* после полного остывания пластины (сечение *2—2* на рис. 7, *б* как находящееся за пределами рисунка не показано).

Рассмотрим определение продольных деформаций и напряжений σ_x при сварке встык двух пластин при полной их ширине $2B$. Согласно (1) собственные деформации ($\varepsilon_{упр} + \varepsilon_{пл}$) равны разности наблюдаемых деформаций $\varepsilon_и$ и температурных деформаций $\varepsilon_\alpha = \alpha T$:

$$\varepsilon_{упр} + \varepsilon_{пл} = \varepsilon_и - \varepsilon_\alpha = \varepsilon_н - \alpha T. \qquad (9)$$

Решение задачи сводится к отысканию составляющих деформаций в уравнении (9). На рис. 6 отрицательные деформации укорочения отложены вниз, а положительные деформации удлинения — вверх. Вначале строится кривая температурных деформаций $\varepsilon_\alpha = \alpha T$, показанная на рис. 7, *а*. Так как принято, что поперечные сечения не искривляются, то $\varepsilon_н$ по всей ширине пластин одинакова. Величину $\varepsilon_н$ находят путем подбора методом последовательных приближений из условия взаимоуравновешенности собственных напряжений в пределах поперечного сечения *1—1*; $\sigma = \varepsilon_{упр} E$. Задаются некоторой положительной величиной $\varepsilon_и$ и смещают начало координат на эту величину из положения OO' в положение mm'. Вертикальные отрезки между кривой αT и линией mm' согласно (9) представляют собой сумму упругих и пластических деформаций, находящихся в левой части (9). Разделение полных деформаций на упругие $\varepsilon_{упр}$ и пластические $\varepsilon_{пл}$ производят с учетом того, что упругая деформация не может превосходить величину $\frac{\sigma_т}{E}$. При $T \geqslant 600°$ С упругие деформации равны нулю. На рис. 7, *а* упругие деформации показаны вертикальной штриховкой, а пластические — наклонной. Признаком правильности выбора величины $\varepsilon_н$ является равенство нулю суммы напряжений, т. е. уравновешенность эпюры упругих деформаций.

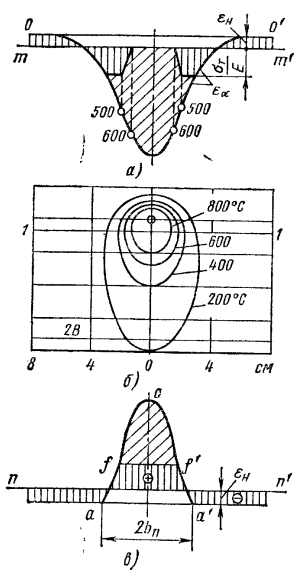


Рис. 7. Схемы определения продольных деформаций и напряжений при сварке узких пластин по методу, разработанному Г. А. Николаевым:

а — распределение температур и деформаций в сечении *1—1*; *б* — температурное поле в пластине при сварке; *в* — эпюра остаточных деформаций в пластине

Для определения остаточных деформаций и напряжений надлежит воспользоваться уравнением (3) в следующей форме записи:

$$\varepsilon_{упр} + \varepsilon_{пл} = \varepsilon_и - \varepsilon_{т.} - \varepsilon_0. \qquad (10)$$

После полного остывания $T = 0$, следовательно, ε_α также равно нулю. В качестве начальных деформаций ε_0 служат пластические деформации, возникшие при нагреве в сечении *1—1* (показаны косой штриховкой на рис. 7, *а*). На рис. 7, *в* они показаны кривой $afc\,f'a'$. Задаются некоторой отрицательной величиной

$\varepsilon_н$ и смещают начало координат в положение nn'. Разделяют полные деформации на упругие и пластические. Упругие деформации (они могут рассматриваться и как остаточные напряжения σ_x) показаны вертикальной штриховкой; наклонной штриховкой показаны пластические деформации удлинения, возникшие на стадии остывания. Остаточные пластические деформации представляют собой разность пластических деформаций, возникших при нагреве, и пластических деформаций, возникших при остывании:

$$\varepsilon_{пл.ост} = |\varepsilon_{пл.нагр}| - |\varepsilon_{пл.остыв}|. \qquad (11)$$

Остаточные пластические деформации образуют на рис. 7, *в* эпюру *aff'a'* и создают так называемую усадочную силу $P_{ус}$ (см. стр. 360):

$$P_{ус} = \int_{-b_п}^{+b_п} \varepsilon_{пл.ост} \delta E\, dy, \qquad (12)$$

где $2b_п$ — ширина зоны пластических деформаций; δ — толщина пластины. По величине $\varepsilon_и$ можно определить продольное укорочение $\Delta_{пр}$ пластины длиной L:

$$\Delta_{пр} = \varepsilon_н L. \qquad (13)$$

В методе Н. О. Окерблома используют те же допущения, что и в методе Г. А. Николаева. Для определения остаточных напряжений и деформаций на стадии нагрева и остывания рассматривают не одно, а несколько сечений, расположенных друг за другом. По алгоритмам рассмотренных методов для машинного решения задач на ЦВМ разработаны соответствующие программы [15]. В методе, изложенном в работе [6], также рассматривают серию поперечных сечений при допущениях 1 и 2. Модуль упругости и предел текучести зависят от температуры, приближенно учитывают упрочнение металла при пластической деформации.

Неодноосные напряжения при сварке определяют методами теории упругости и пластичности. Упругие решения находят классическими методами, разработанными для температурных задач в теории упругости [1]. Пластические решения выполняют либо приближенно [9, 16], либо более точно на базе современных теорий пластичности. Методы решения упругопластических сварочных задач с применением теории течения разработаны в работе [12], а методы решения задач с движущимися упругопластическими полями — в работе [2]; понятие термодеформационного цикла сварки как основы физической модели процесса упруго-пластической деформации металла в условиях изменяющихся температур введено в работе [3]. Для решения сложных задач нашел применение метод конечных элементов.

Для определения остаточных и временных деформаций и напряжений разработаны также экспериментальные методы. Остаточные напряжения определяют как физическими методами — рентгеновским [17], магнитным [13], ультразвуковым [7], так и механическими методами, основанными на разрезке металла и освобождении его от напряжений. Наибольшее распространение получили механические методы.

Механические методы определения остаточных напряжений различаются характером расположения измеряемых баз и последовательностью выполнения операций разрезки и измерения деформаций металла. Напряжения в пластинах в простейшем случае определяют, считая их одноосными. Так как одноосные напряжения незначительно изменяются по длине шва (рис. 8, *а*), то размер базы измерения можно принимать большим — до 100 мм (рис. 8, *б*). После начальных отсчетов с датчиков или съемных механических тензометров, производимых с двух сторон пластины, выполняют разрезку пластины на полоски, ширина b которых в зоне значительных градиентов напряжений должна быть по возможности меньше. После разрезки измерения повторяют и по разности начального

и конечного отсчетов определяют возникшую в результате освобождения от напряжений деформацию металла ε_x, а затем вычисляют остаточные напряжения

$$\sigma_{x\,ост} = -\varepsilon_x E. \qquad (14)$$

Бывает достаточно вырезать полоску перпендикулярно оси шва (рис. 8, *в*). Для более полного снятия напряжений в ней необходимо, чтобы ширина полоски $L_п$ была не более половины ширины зоны пластических деформаций $2b_п$, т. е. $L_п \leqslant b_п$. Одноосные остаточные напряжения в балках определяют путем разрезки их на полосы или путем сострагивания слоев.

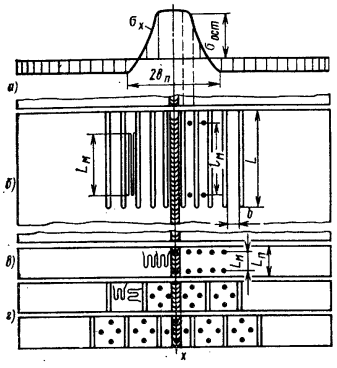


Рис. 8. Расположение измерительных баз и схемы разрезки пластины при определении остаточных напряжений:

а — продольные напряжения σ_x в пластине; *б* — разрезка «гребенкой»; *в* — разрезка на поперечные полосы; *г* — разрезка на квадраты

Для определения двухосных напряжений в пластинах используют схему расположения баз и разрезку, представленные на рис. 8, *г*. Касательными напряжениями на площадках, перпендикулярных к осям X и Y, при этом пренебрегают. Напряжения

$$\sigma_{x\,ост} = -\frac{E(\varepsilon_x + \mu\varepsilon_y)}{1-\mu^2}; \qquad \sigma_{y\,ост} = -\frac{E(\varepsilon_y + \mu\varepsilon_x)}{1-\mu^2}, \qquad (15)$$

где ε_x и ε_y — относительные деформации металла в направлении OX и OY, возникшие в результате разрезки.

Когда направления главных осей не известны и необходимо определить касательные напряжения, измерения производят в трех направлениях (рис. 9, *а*) или более (рис. 9, *б*), используя либо датчики, либо базы под механические тензометры. Напряжения определяют по деформациям, используя соответствующие формулы теории упругости. При определении двухосных остаточных напряжений на поверхности массивных

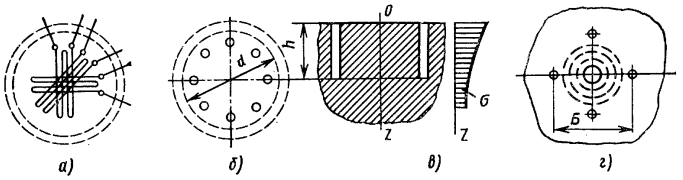


Рис. 9. Расположение измерительных баз и схема разрезки при определении двухосных остаточных напряжений:

а — с помощью проволочных тензометров; *б* — с помощью механического деформометра; *в* — путем подрезки металла; *г* — методом рассверливания

тел металл подрезают на глубину не менее $h \approx 0{,}6\,d$ (рис. 9, *в*). Двухосные осесимметричные напряжения в пластинах определяют путем последовательного рассверливания отверстий с измерением баз $Б$ (рис. 9, *г*). В качестве механического съемного тензометра может быть рекомендована конструкция, показанная на рис. 10, с индикаторной головкой. Измеряемые длины баз 10—100 мм.

Определить трехосные напряжения в глубине металла при произвольном расположении главных осей можно путем сверления глубоких отверстий диаметром 5—8 мм и установки в них проволочных тензометров. Сверление отверстия вносит существенные искажения в поле напряжений только вблизи отверстия в области около пяти радиусов отверстия. За пределами этого размера искажения незначительны.

При вырезке столбика металла диаметром более пяти диаметров отверстия можно определить средние напряжения в пределах этого объема металла. Датчики могут быть установлены на резьбе, приклеены к стенке или залиты эпоксидной смолой. В последнем случае может быть установлена розетка из нескольких датчиков.

Временные двухосные напряжения определяют на поверхности металла непосредственно в процессе сварки, устанавливая механические, обычно охлаждаемые тензометры. Производят непрерывную запись наблюдаемых деформаций $\varepsilon_н$ и термического цикла. Затем на дилатометре воспроизводят термический цикл сварки и определяют температурную деформацию ε_α. Вычитая из $\varepsilon_н$ величину ε_α, по формуле (9) определяют деформации $\varepsilon_{упр} + \varepsilon_{пл}$ на измеряемых базах. Располагая тремя измерениями деформаций, получают деформации ε_x, ε_y, γ_{xy}. Весь процесс разбивают на отдельные периоды времени Δt и находят приращения деформаций $\Delta\varepsilon_x^{n+1}$, $\Delta\varepsilon_y^{n+1}$, $\Delta\gamma_{xy}^{n+1}$ на каждом интервале времени от n до $(n+1)$. Зная величины предела текучести, модуля упругости и коэффициента Пуассона в зависимости от температуры в момент времени $(n+1)$, по теории течения вычисляют напряжения [3].

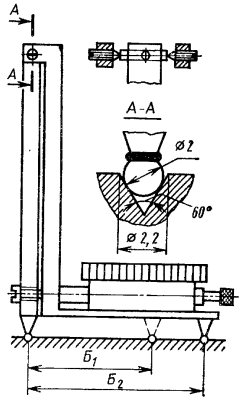


Рис. 10. Механический съемный деформометр конструкции МВТУ им. Баумана

Для более точного определения временных напряжений с учетом влияния термического цикла сварки и процесса деформации на механические свойства металла получают термодеформограмму, а затем находят более точные напряжения [3].

На основе расчетных и экспериментальных данных сложились следующие представления о величине и характере распределения остаточных напряжений в сварных соединениях. Наиболее устойчивый характер имеют продольные остаточные напряжения σ_x. В металлах толщиной до 15—20 мм, выполняемых за один—три прохода электродуговыми способами и не имеющих структурных превращений с изменением объема при относительно невысоких температурах, распределение напряжений σ_x имеет вид, показанный на рис. 11. В низкоуглеродистых и аустенитных сталях максимальные напряжения наблюдаются в шве и примерно равны пределу текучести металла (рис. 11, *а* и *б*). В титановых сплавах (рис. 11, *в*) $\sigma_{x\,max} \approx (0{,}5 \div 0{,}8)\,\sigma_т$; примерно такой же уровень имеют максимальные напряжения в алюминиевых сплавах, но характерно некоторое снижение напряжений в зоне шва (рис. 11, *г*); большие уровни напряжений соответствуют мощным быстродвижущимся источникам тепла при сварке. Ширина зоны растягивающих напряжений несколько меньше ширины зоны пластических деформаций $2b_п$; в приближенных оценках можно считать их одинаковыми. В сваренных полосах равной ширины растягивающие напряжения уравнове-

шены сжимающими напряжениями $\sigma_{сж}$ за пределами зоны $2b_п$; средняя величина последних зависит от $P_{ус}$ и ширины сваренной пластины $2B$:

$$\sigma_{сж} \approx \frac{P_{ус}}{2B\delta}. \qquad (16)$$

Показанные на рис. 11 напряжения σ_x действуют по всей длине пластин, за исключением концевых участков.

Структурные превращения, сопровождающиеся изменением объема и происходящие при температурах, когда $\sigma_т \neq 0$, влияют на остаточные напряжения. Чем ниже температура структурного превращения в сталях (см. рис. 4), тем меньше растягивающие напряжения σ_x; при температурах превращений ниже

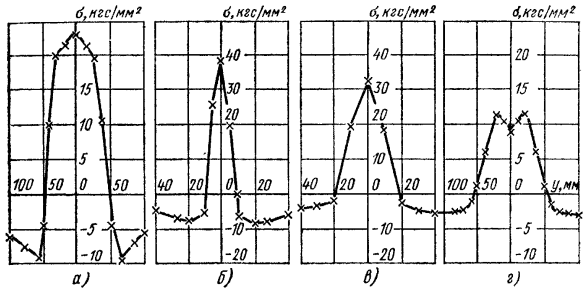


Рис. 11. Характер распределения остаточных напряжений σ_x в средней части сварных пластин:

а — низкоуглеродистая сталь Ст3, $\delta = 8$ мм; *б* — аустенитная сталь 12Х18Н9Т, $\delta = 2$ мм; *в* — титановый сплав ОТ-4, $\delta = 1{,}5$ мм; *г* — алюминиевый сплав АМг6, $\delta = 10$ мм

300—400° С возникают сжимающие напряжения. На рис. 12, *а* показано характерное распределение напряжений в легированной стали. Центральная зона при нагреве и остывании испытала структурные превращения, завершившиеся при низкой температуре; в ней — напряжения сжатия. При сварке аустенитными электродами (рис. 12, *б*) в шве получают напряжения растяжения, а в околошовной зоне, испытавшей структурные превращения, — напряжения сжатия.

Поперечные напряжения σ_y в соединениях, выполненных дуговыми способами сварки за один проход, зависят от скорости сварки, длины и ширины пластин, условий охлаждения и закреплений. Они являются взаимно уравновешенными и поэтому могут быть как растягивающими, так и сжимающими. Значительные растягивающие напряжения σ_y с протеканием пластических деформаций удлинения в период остывания возникают при сварке коротких швов в жестком контуре (например, при заварке дефектных участков). Напряжения σ_z в электродуговых однопроходных швах незначительны.

Остаточные напряжения в многослойных стыковых швах зависят от свойств металла, числа слоев, режима сварки и условий закрепления. Распределение продольных напряжений σ_x подчиняется примерно тем же закономерностям, что и в однопроходных электродуговых соединениях. Распределение поперечных напряжений σ_y в многослойных швах с V-образной разделкой зависит от характера закреплений свариваемых пластин. При сварке незакрепленных пластин вследствие поперечной усадки отдельных слоев и поворота пластин относительно

друг друга в корне шва напряжения $\sigma_y > \sigma_т$ (кривая *1* на рис. 13, *а*), а при больших толщинах (80—100 мм и более) могут достигать значений, вызывающих разрушение. Наоборот, при сварке пластин, где угловой поворот невозможен, а

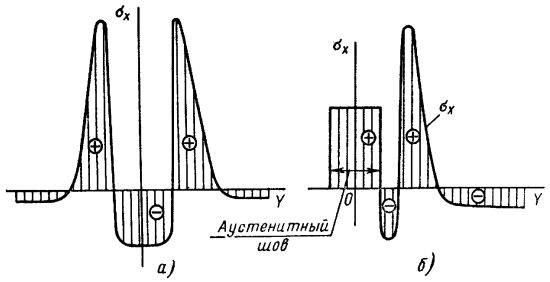


Рис. 12. Характер распределения остаточных напряжений в сварных соединениях из среднелегированных сталей, испытывающих структурные превращения:

а — химический состав присадочного металла совпадает с химическим составом основного металла; *б* — присадочный металл — аустенитная сталь

поперечная усадка происходит беспрепятственно, в корне шва возникают сжимающие напряжения σ_y (кривая *2* на рис. 13, *а*). В последних слоях швов напряжения $\sigma_y \approx (0{,}4 \div 0{,}6)\,\sigma_т$ и являются растягивающими. Напряжения σ_z могут быть и сжимающими, и растягивающими, что зависит от режима укладки

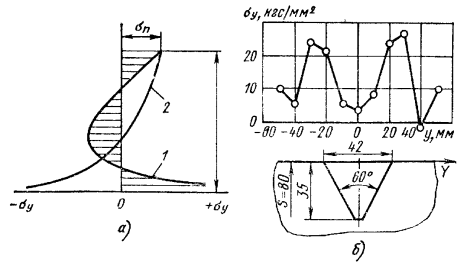


Рис. 13. Поперечные остаточные напряжения σ_y:

а — в многослойном шве низкоуглеродистой стали; *б* — на поверхности пластин из среднелегированной стали с аустенитным швом

валиков выше лежащих слоев. В легированных сталях в зоне структурных превращений напряжения σ_z, как правило, сжимающие, а напряжения σ_y на поверхности пластин являются растягивающими с максимумом на линии сплавления (рис. 13, *б*). В электрошлаковых сварных соединениях из низкоуглеродистых сталей толщиной примерно до 150 мм, выполняемых с большим проваром, рас-

пределение напряжений аналогично распределениям в электродуговых однопроходных соединениях. Напряжения σ_x значительны, а σ_y и σ_z существенно меньше $\sigma_т$. При толщине элементов 150—200 мм и более, в особенности при малых погонных энергиях сварки, распределение напряжений по толщине швов крайне неравномерно (рис. 14, *а*). По оси все три компонента растягивающие, причем вследствие объемности напряженного состояния отдельные компоненты превосходят $\sigma_т$. На поверхности швов напряжения σ_x обычно растягивающие, но малы, а σ_y — сжимающие величиной 0,5 $\sigma_т$ и более. Такой характер распределения напряжений объясняется сопротивлением усадке нагретого металла по толщине со стороны холодных участков, а также неравномерностью температуры металла по толщине, если она велика. В легированных сталях в зонах структурных превращений, происходящих при низких температурах, напряжения σ_x и σ_z сжимающие (рис. 14, *б*). В аустенитном шве напряжения растягивающие.

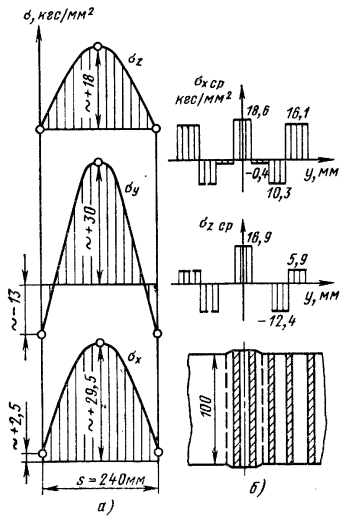


Рис. 14. Остаточные напряжения в электрошлаковых стыковых сварных соединениях:

а — распределение напряжений σ_x, σ_y, σ_z по толщине шва углеродистой стали, $\delta = 240$ мм; *б* — распределение средних напряжений σ_x и σ_z по ширине соединения из среднелегированной стали с аустенитным швом

В сварных соединениях нахлесточных, угловых и тавровых распределение напряжений при электродуговой и электрошлаковой сварке в общем аналогично распределению напряжений в стыковых соединениях.

В продольных прямолинейных швах оболочек остаточные напряжения примерно такие же, как и в плоских пластинах. В кольцевых однопроходных сварных соединениях оболочек к напряжениям, имеющим место в пластинах, добавляются напряжения, возникающие от сокращения металла в окружном направлении и появляющегося вследствие этого изгиба оболочки. В результате напряжения вдоль шва σ_x (в данном случае окружные напряжения σ_t) понижаются по сравнению с напряжениями в плоских пластинах. Напряжения поперек шва с внутренней стороны оболочки из-за изгиба оказываются растягивающими, а на поверхности металла с наружной стороны — сжимающими. Многослойные кольцевые соединения могут выполняться с различным темпом укладки слоев, а также с разделкой шва наружу и внутрь оболочки. В первом случае в корне шва часто образуются значительные растягивающие поперечные напряжения, способные вызвать разрушение шва. При втором варианте расположения разделки более вероятно образование сжимающих поперечных напряжений в корне шва, который в этом случае находится снаружи.

Распределение напряжений в круговых однопроходных соединениях плоских элементов зависит от свойств металла, радиуса шва и жесткости внутреннего и внешнего свариваемых элементов. В металлах, не испытывающих структурных превращений, окружные напряжения σ_t вдоль шва в зоне $2b_п$ пластических деформаций близки по величине к напряжениям σ_x в прямолинейных швах. Радиальные напряжения σ_r могут изменяться в широких пределах — от нулевых до растягивающих, близких к пределу текучести металла. Последние более вероятны в швах малого радиуса. С возрастанием радиуса шва σ_r уменьшаются. Во внешней части листа σ_t сжимающие, а σ_r растягивающие. Во внутренней части $\sigma_t \approx \sigma_r$, при больших радиусах швов они сжимающие, при малых — растягивающие.

При осесимметричных нагревах в точечных и электрозаклепочных сварных соединениях в центральной части остаточные напряжения σ_r и σ_t примерно равны и являются растягивающими. В низкоуглеродистых и аустенитных сталях $\sigma_{r\,max} \approx \sigma_{t\,max} \approx \sigma_т$. В титановых и алюминиевых сплавах максимальные напряжения в центральной части меньше предела текучести. При переходе от зоны пластических деформаций к основному металлу напряжения σ_t меняют знак и становятся сжимающими; радиальные напряжения в основном металле растягивающие и по абсолютной величине примерно равны тангенциальным σ_t.

В стыковых соединениях стержней, сваренных контактной сваркой, на поверхности в осевом направлении действуют сжимающие напряжения. В глубине металла по оси стержней имеются трехосные растягивающие напряжения. С увеличением диаметра стержней и градиента температур по их длине остаточные напряжения возрастают.

Остаточные напряжения в сталях и сплавах даже при значениях, близких к $\sigma_т$, стабильны во времени. Релаксация напряжений протекает крайне медленно и может составлять лишь несколько процентов. Дополнительные деформации появляются вследствие распада неустойчивых структур, например остаточного аустенита.

Рассмотренные здесь напряжения и деформации относятся к случаям, когда в соединениях отсутствуют какие-либо дефекты. В стыковых соединениях сталей продольная пластическая деформация составляет около 1—2%. При наличии концентраторов в зоне пластических деформаций, при сварке в жестком контуре, а также при наличии больших перемещений во время многослойной сварки пластические деформации могут составлять десятки процентов и вызывать разрушение металлов.

ПЕРЕМЕЩЕНИЯ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ СВАРКЕ КОНСТРУКЦИЙ

Перемещения в элементах конструкций возникают вследствие образования сварочных деформаций. Перемещения могут быть временные и остаточные. Их определяют либо расчетными, либо экспериментальными методами.

Один из наиболее простых и рациональных расчетных методов определения перемещений сварных конструкций состоит в расчленении всей задачи расчета на два самостоятельных этапа. На первом этапе экспериментальным или расчетным путем находят деформации и перемещения в зоне сварных соединений (термомеханическая часть задачи), а на втором этапе методами сопротивления материалов или теории упругости определяют перемещения (деформационная часть задачи), используя результаты, полученные на первом этапе.

Удобство такого приема состоит в том, что одни и те же результаты из термомеханической части задачи, будучи полученными один раз, могут многократно использоваться при решении деформационных задач.

Перемещения и деформации в зоне сварных соединений. Различают следующие пять видов перемещений и деформаций в зоне сварных соединений:

1) продольные остаточные пластические деформации $\varepsilon_{пл.ост}$, создающие так называемую усадочную силу $P_{ус}$; 2) поперечные перемещения v и равномерная по толщине поперечная усадка $\Delta_{поп}$; 3) неравномерная по толщине поперечная усадка и угловое перемещение β; 4) перемещения в направлении

перпендикуляра к поверхности свариваемых листов w; 5) продольные перемещения u.

Рассмотрим каждый из указанных видов отдельно.

Усадочная сила. В результате сварки в зоне термического влияния формируются остаточные продольные пластические деформации $\varepsilon_{пл.ост}$, которые, как правило, являются деформациями укорочения, но в случае структурных превращений при невысоких температурах (обычно ниже 400° С) могут оказаться деформациями удлинения. На рис. 15, *а* показана эпюра $\varepsilon_{пл.ост}$, типичная для низкоуглеродистой стали, а на рис. 15, *б* — для легированной стали.

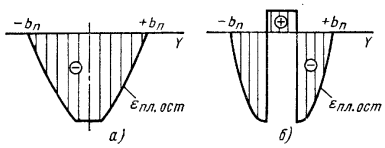


Рис. 15. Распределение продольных остаточных пластических деформаций:

а — низкоуглеродистая сталь; *б* — легированная сталь

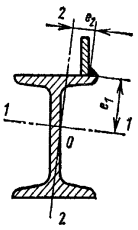


Рис. 16. Положение главных осей и эксцентриситеты e_1 и e_2 приложения усадочной силы

Некоторые исследователи [10, 12] рекомендуют использовать в расчетах сумму произведений остаточных пластических деформаций на площадь, занимаемую ими:

$$\sum \lambda_F = \int_{-b_п}^{+b_п} \varepsilon_{пл.ост}\, dF. \qquad (17)$$

Другие исследователи [5] рекомендуют использовать величину

$$P_{ус} = E \sum \lambda_F. \qquad (18)$$

Остаточные пластические деформации $\varepsilon_{пл.ост}$ в ряде случаев могут быть рассчитаны. Их определяют также экспериментально путем измерения длины продольных волокон до сварки и после сварки и разрезки (см. рис. 8).

Для низкоуглеродистых и низколегированных сталей с пределом текучести до 30 кгс/мм² в случае сварки плавлением элементов встык, втавр или внахлестку за один проход установлена следующая зависимость усадочной силы $P_{ус}$ от режима сварки и жесткости свариваемого элемента:

$$P_{ус} = \frac{P_{ус.ж}}{1 - \frac{P_{ус.ж}}{\sigma_т}\left(\frac{e_1^2}{J_1} + \frac{e_2^2}{J_2} + \frac{1}{F}\right)}, \qquad (19)$$

где $P_{ус.ж}$ — усадочная сила, возникающая при укладке шва на свариваемый элемент (балку, пластину) весьма высокой жесткости, кгс; $\sigma_т$ — предел текучести металла, кгс/см²; J_1, J_2 — моменты инерции относительно главных центральных осей *1—1* и *2—2*, см⁴ (рис. 16); F — площадь поперечного сечения, см²; e_1, e_2 — эксцентриситеты приложения усадочной силы относительно осей *1—1* и *2—2*, см.

Знаменатель в формуле (19) всегда меньше единицы; он учитывает влияние ограниченной жесткости балки или пластины на увеличение $P_{ус}$ по сравнению с $P_{ус.ж}$. Формулу (19) не следует использовать для элементов с относительно малой

жесткостью, когда площадь пластических деформаций, равная примерно $P_{ус.ж}/\sigma_т$, составляет более 25—30% от всей площади F поперечного сечения балки.

Величину $P_{ус.ж}$ (в кгс) определяют в зависимости от режима сварки:

$$P_{ус.ж} = \left(\frac{23\,000}{q_0 + 12\,600} + 0{,}36\right)\frac{q}{v_с}, \qquad (20)$$

где q — эффективная мощность, Дж/с; $v_с$ — скорость сварки, см/с; $q/v_с$ — погонная энергия сварки, Дж/см²; $q_0 = \frac{q}{v_с \delta_{расч}}$ — удельная погонная энергия

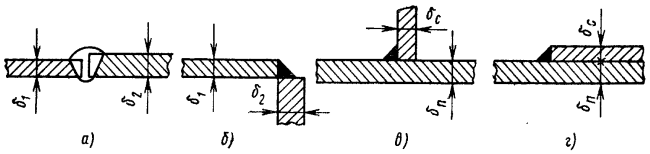


Рис. 17. Поперечные сечения сварных соединений:

а — стыковых; *б* — угловых; *в* — тавровых; *г* — нахлесточных

сварки, Дж/см²; $\delta_{расч}$ — расчетная толщина свариваемого элемента, см. Величина $\delta_{расч} = \frac{1}{2}(\delta_1 + \delta_2)$ при сварке пластин толщиной δ_1 и δ_2 встык или в угол (рис. 17) или $\delta_{расч} = \frac{1}{2}(2\delta_п + \delta_с)$ при сварке втавр или внахлестку (рис. 17, *в*, *г*).

Формула (20) действительна в диапазоне q_0 от 4000 до 38 000 Дж/см² при естественной теплоотдаче и толщинах металла примерно до 20—25 мм. В тех случаях, когда режим сварки точно не известен, удобным оказывается определять погонную энергию сварки $q/v_с$ в зависимости от поперечного сечения наплавленного металла:

$$\frac{q}{v_с} = Q_т F_н, \qquad (21)$$

где $F_н$ — площадь поперечного сечения наплавляемого металла шва, см²; $Q_т$ — коэффициент, определяемый по табл. 2 в зависимости от способа сварки; он найден опытным путем.

2. Значения $Q_т$ для некоторых способов сварки

Сварка	Сварочные материалы	$Q_т$, Дж/см³
Ручная электродуговая	Электроды УОНИ 13/45	65 000
Полуавтоматическая в CO_2	Проволока: Св-08ГС	38 000
	Св-08А под флюсом ОСЦ-45	65 000
	Св-10ГСМТ под флюсом АН-42	71 000
Автоматическая и полуавтоматическая под флюсом		

В случае неоднопроходной сварки зона пластических деформаций от последующих слоев может перекрывать зону пластических деформаций, образованную ранее уложенными слоями. Это должно учитываться при определении усадочной силы. При сварке втавр двумя одинаковыми угловыми швами последовательно (рис. 18, *а*), зоны пластических деформаций которых перекрываются, суммарная усадочная сила от двух швов может составлять около 1,25—1,45 от величины усадочной силы первого однопроходного шва.

При укладке большего числа слоев необходимо использовать следующие рекомендации.

В общем случае при многопроходной сварке тавровых нехлесточных и угловых соединений усадочная сила

$$P_{усл}=P_{ус}\left[1+\frac{\Delta F_{пл}}{F_{пл}}D\left(\frac{P_{ус.ж}}{\sigma_т}+F_{пл}+\Delta F_{пл}\right)\right]+\Delta F_{пл}\sigma_т, \qquad (22)$$

где $P_{ус}$ — усадочная сила при односторонней однопроходной сварке, вычисляемая по формуле (19); $\Delta F_{пл}$ — приращение площади зоны пластических деформаций

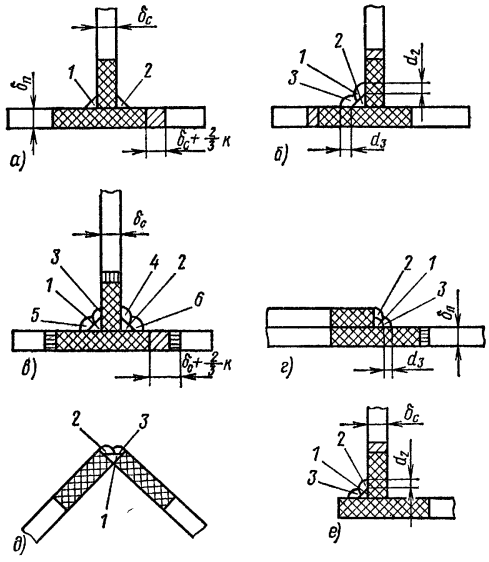


Рис. 18. Сварные соединения в балочных конструкциях: *1—6* — валики (зоны пластических деформаций заштрихованы)

при многопроходной сварке по сравнению с площадью $F_{пл}$ зоны пластических деформаций при однопроходной односторонней сварке.

Величина

$$F_{пл}=\frac{2P_{ус.ж}}{\sigma_т}-9{,}7\cdot10^{-4}\frac{q}{v_c c\gamma}, \qquad (23)$$

где $c\gamma$ — удельная объемная теплоемкость свариваемой стали, Дж/(см³ · °С). Формулы (22) и (23) получены в предположении трапециевидной формы зоны пластических деформаций и напряжений $\sigma=\sigma_т$ на участке нагрева выше 500°С.

Величина

$$D=\frac{e_1^2}{J_1}+\frac{e_2^2}{J_2}+\frac{1}{F}. \qquad (24)$$

Приращения площадей $\Delta F_{пл}$ вычисляют по следующим формулам в зависимости от условий сварки и вида соединения:

а) при двусторонней сварке тавровых соединений двумя одинаковыми однопроходными швами от укладки второго углового шва (рис. 18, *а*)

$$\underset{n=2}{\Delta F_{пл}}=\left(\delta_с+\frac{2}{3}K\right)\delta_п+F_{ш2}, \qquad (25)$$

где K — катет шва, см. $F_{ш2}$ — площадь поперечного сечения второго углового шва, см²;

б) при трехпроходной односторонней сварке тавровых соединений от второго и третьего проходов совместно (рис. 18, *б*)

$$\underset{n=3}{\Delta F_{пл}}=d_2\delta_с+d_3\delta_п+F_{ш\Sigma}, \qquad (26)$$

где d_2 — увеличение катета шва на стенке после укладки второго валика; d_3 — увеличение катета шва на полке после укладки третьего валика; $F_{ш\Sigma}$ — площадь поперечного сечения наплавленного металла от второго и третьего валиков;

в) при двусторонней сварке тавровых соединений трехпроходными швами от пяти последующих валиков

$$\underset{n=6}{\Delta F_{пл}}=\left(\delta_с+\frac{2}{3}K\right)\delta_п+d_3\delta_с+d_5\delta_п+d_6\delta_п+F_{ш\Sigma}, \qquad (27)$$

где d с различными индексами — увеличение катета шва на стенке или на полке в соответствии с нумерацией проходов на рис. 18, *в*; $F_{ш\Sigma}$ — площадь поперечного сечения наплавленного металла от валиков со второго по пятый, см²;

г) при трехпроходной сварке нахлесточного соединения приращение площади зоны пластических деформаций происходит в нижнем листе от третьего валика, а также за счет поперечного сечения второго и третьего валиков (рис. 18, *г*)

$$\Delta F_{пл}=d_3\delta_п+F_{ш\Sigma}; \qquad (28)$$

д) в угловых соединениях приращение площади зоны пластических деформаций происходит только за счет площадей поперечных сечений второго и третьего валиков (рис. 18, *д*):

$$\Delta F_{пл}=F_{ш\Sigma}; \qquad (29)$$

е) при сварке соединений с малым выступом пояса (рис. 18, *е*), если зона пластических деформаций при сварке первого прохода полностью захватывает выступ пояса, то приращение площади зоны пластических деформаций происходит только от увеличения катета на стенке и площадей поперечных сечений швов:

$$\Delta F_{пл}=d_2\delta_с+F_{ш\Sigma}. \qquad (30)$$

В случае многопроходной сварки угловыми швами при большем числе слоев приращение площади зоны пластических деформаций по сравнению с однопроходной вычисляется по формулам, аналогичным формулам (26) — (30), но с учетом большего числа слоев. В других случаях можно воспользоваться экспериментальным методом определения усадочной силы, процедура которого освещена в конце настоящего пункта.

Швы могут быть прерывистые или в виде ряда сварных точек, дуговых или контактных. В этом случае усадочная сила по длине шва неравномерная и ее средняя эффективная величина

$$P_{ус.эф}=P_{ус}\frac{t_ш}{t_{пр}}, \qquad (31)$$

где $P_{ус}$ — усадочная сила в непрерывном сварном соединении; $t_ш$, $t_{пр}$ — соответственно длина участка шва и шага прерывистого шва (рис. 19, *а*).

При шахматном расположении швов зона пластических деформаций представляет собой практически непрерывную зону (рис. 19, *б*), что не дает снижения величины усадочной силы. В этом отношении более рациональным является соединение, показанное на рис. 18, *в*.

Приближенно усадочная сила от однорядного точечного соединения

$$P_{\text{ус}} = 7520 \frac{\delta}{S} r_{150}^2, \qquad (32)$$

где δ — суммарная толщина свариваемого металла, см; S — шаг точек, см; r_{150} — радиус зоны, нагревавшейся при сварке до 150° С, см; он может быть определен на основе тепловых расчетов или экспериментально.

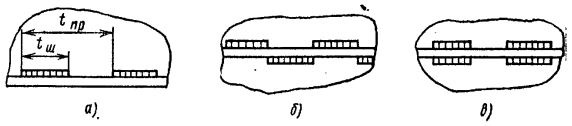


Рис. 19. Прерывистые угловые швы

Усадочная сила возникает также при резке металла от нагрева кромки. Погонная энергия при газовой резке $\frac{q}{v_{\text{р}}}$ (в Дж), приходящаяся на одну кромку и необходимая для определения усадочной силы для толщин $\delta = 0{,}6 \div 4$ см:

$$\frac{q}{v_{\text{р}}} = 1760\,(13{,}5 - \delta)\,\delta, \qquad (33)$$

где δ — толщина металла, см; $v_{\text{р}}$ — скорость резки, см/с.

Приведенные выше формулы для определения усадочных сил в различных случаях справедливы при сварке по ненапряженному металлу. Если укладку шва производят на металле, в котором в направлении шва имеются напряжения (собственные или от внешних нагрузок), то необходимо учитывать их влияние на усадочную силу путем введения коэффициента n:

$$P'_{\text{ус}} = nP_{\text{ус}}, \qquad (34)$$

где n — коэффициент, зависящий от знака и величины начальных напряжений в металле $\sigma_{\text{нач}}$; при растягивающих начальных напряжениях $\sigma_{\text{нач}} > 0$, $n = 1 - \frac{\sigma_{\text{нач}}}{\sigma_{\text{т}}}$; при сжимающих напряжениях, если они находятся в пределах $-0{,}5\ \sigma_{\text{т}} < \sigma_{\text{нач}} < 0$,

$$n = 1 - \frac{2\sigma_{\text{нач}}}{\sigma_{\text{т}}}.$$

Для углеродистых и легированных сталей с пределом текучести более 30 кгс/мм^2, а также для цветных металлов и их сплавов систематических данных о зависимости усадочной силы от режима сварки и жесткости изделия пока нет. Для конструкций из алюминиевого сплава АМг6 толщиной 5—12 мм могут быть рекомендованы следующие приближенные соотношения при однопроходной сварке:

а) при сварке встык

$$P_{\text{ус}} \approx (1{,}4 \div 1{,}5)\,\frac{q}{v_{\text{с}}}; \qquad (35)$$

б) при сварке втавр

$$P_{\text{ус}} \approx (1{,}6 \div 1{,}7)\,\frac{q}{v_{\text{с}}}. \qquad (36)$$

Величина усадочной силы может быть определена экспериментально путем разрезки металла зоны сварного соединения на полосы, расположенные вдоль оси шва. Для этого до сварки механическим деформометром измеряют базы, расположенные вдоль предполагаемого расположения шва. Число баз берут такое, чтобы захватить всю зону пластических деформаций, затем после сварки и полного остывания пластина должна быть разрезана на полосы аналогично тому, как это делают при определении одноосных остаточных напряжений (см. рис. 8, *б*). По разности показаний деформометра в каждой полосе определяют остаточные пластические деформации $\varepsilon_{\text{пл. ост}}$ и площадь F поперечного сечения каждой полосы с учетом металла, ушедшего в стружку; усадочная сила

$$P_{\text{ус}} = E \sum_{1}^{k} \varepsilon_{\text{пл. ост}\,i} F_i, \qquad (37)$$

где k — число полос.

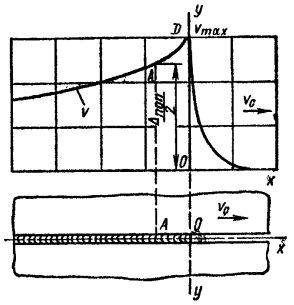


Рис. 20. Схемы образования поперечной усадки при однопроходной стыковой сварке

Поперечные перемещения и поперечная усадка. При движении источника тепла по краю пластины или при сварке пластин встык с зазором (рис. 20) металл нагревается и расширяется. Возникает перемещение v точек кромки пластины в направлении оси oy (внутрь зазора), характер которого показан на рис. 20 кривой. В зоне источника тепла перемещение достигает максимума $v_{\max}$, а затем при последующем остывании пластины точки кромки постепенно перемещаются в обратном направлении. В случае сварки такой отход точек возможен за счет пластической деформации только на участке DA, пока металл нагрет до высокой температуры. Далее возникает прочная связь, которая фиксирует сближение кромок $\Delta_{\text{поп}}$, равное $2v_A$. Возникающие при этом собственные поперечные напряжения σ_y создают силы, вызывающие закрывание сварочного зазора и поворот свариваемых пластин относительно друг друга в плоскости (см. стр. 372).

При сварке пластин без зазора или при укладке валика на поверхность пластины сближение точек и образование поперечной усадки происходит в области высоких температур при достижении пластического состояния или расплавления металла. При этом поперечная усадка $\Delta_{\text{поп}}$ оказывается несколько меньше вследствие невозможности поперечных перемещений в зоне впереди источника тепла.

Поперечную усадку удобно определять по следующей формуле:

$$\Delta_{\text{поп}} = A \frac{\alpha}{c\gamma} \frac{q}{v_{\text{с}}\delta}, \qquad (38)$$

где A — эмпирический коэффициент, зависящий от способа и условий сварки.

При электрошлаковой сварке с зазором $A \approx 1{,}6$. При электродуговой сварке встык с полным проплавлением $A \approx 1 \div 1{,}2$; в некоторых случаях A может быть меньше 1 и больше 1,2. Коэффициент A при полном проплавлении относительно слабо зависит от способа сварки и рода свариваемого металла. Поперечную усадку при полном проплавлении можно определять для сталей, алюминиевых, магни-

евых, титановых и других сплавов по формуле (38) при $A = 1{,}0 \div 1{,}2$. Поперечная усадка в случае электродуговой однопроходной сварки встык металла толщиной до 3—5 мм составляет обычно десятые доли миллиметра, металла толщиной 16—20 мм — около 1—1,5 мм, а при электрошлаковой сварке — 3—8 мм и более.

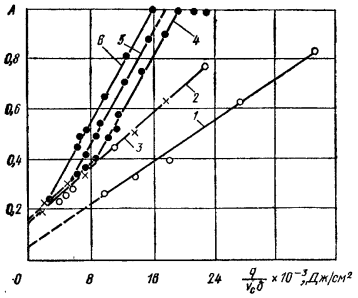


Рис. 21. Зависимость коэффициента A от режима и способа сварки:

1—3 — соответственно под флюсом при q/v_c, равном 57 500, 22 000 и 10 500 Дж/см; *4—6* — в среде CO_2 при q/v_c, равном 14 300, 11 100 и 8800 Дж/см

В случае неполного проплавления листов, например при приварке к ним других элементов внахлестку или втавр угловыми швами, поперечная усадка оказывается при прочих равных условиях меньше, чем при полном проплавлении, а коэффициент A в формуле (38) начинает сильно зависеть от формы проплавления и способа сварки. На рис. 21 показан коэффициент A для различных случаев в

3. Формулы для определения коэффициента A в зависимости от условий сварки

Сварка	q/v_c, Дж/см	$q_{уп} = \frac{q}{v_c\delta}$, Дж/см²	A
Под флюсом, на переменном токе	~ 57 500	≤ 46 300	$0{,}06 + 0{,}203 \cdot 10^{-4} q_{уп}$
	~ 57 500	> 46 300	1,00
	10 500—22 000	≤ 31 200	$0{,}15 + 0{,}272 \cdot 10^{-4} q_{уп}$
		> 31 200	1,00
В среде углекислого газа	~ 14 300	< 8 400	$0{,}15 + 0{,}272 \cdot 10^{-4} q_{уп}$
		8 400—19 300	$-0{,}12 + 0{,}585 \cdot 10^{-4} q_{уп}$
		> 19 300	1,00
	~ 11 100	< 3 780	$0{,}15 + 0{,}272 \cdot 10^{-4} q_{уп}$
		3 780—16 750	$0{,}02 + 0{,}585 \cdot 10^{-4} q_{уп}$
		> 16 750	1,00
	~ 8 800	< 1 260	$0{,}15 + 0{,}272 \cdot 10^{-4} q_{уп}$
		1 260—15 100	$0{,}12 + 0{,}585 \cdot 10^{-4} q_{уп}$
		> 15 100	1,00

зависимости от удельной погонной энергии $q_{уп} = \frac{q}{v_c\delta}$ при сварке на пластинах из стали Ст3 толщиной от 4 до 60 мм. Величины коэффициентов A представлены в табл. 3.

При определении $\Delta_{поп}$ по формуле (38) и выборе коэффициента A по табл. 3 эффективная мощность q означает тепловую мощность, вводимую в пластину, для которой находят поперечную усадку. Для приближенного расчета поперечной усадки $\Delta_{поп}$ в пластинах тавровых или нахлесточных соединений мощность, вводимая в полку,

$$q_п = \frac{2\delta_п}{2\delta_п + \delta_р} q, \qquad (39)$$

где q — полная эффективная мощность источника теплоты; $\delta_п$ и $\delta_р$ — толщины пояса и ребра соответственно.

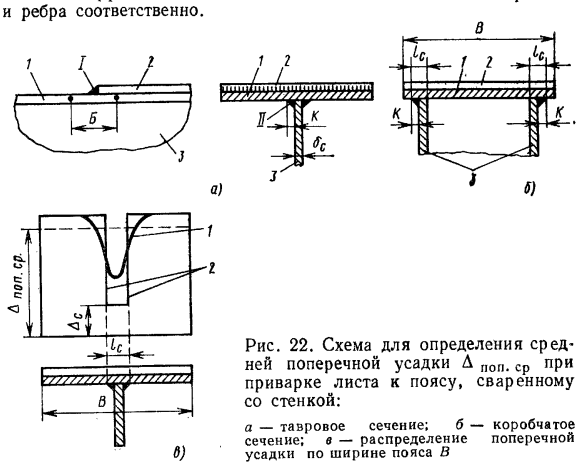


Рис. 22. Схема для определения средней поперечной усадки $\Delta_{поп.ср}$ при приварке листа к поясу, сваренному со стенкой:

а — тавровое сечение; *б* — коробчатое сечение; *в* — распределение поперечной усадки по ширине пояса B

Нередко возникает необходимость определения поперечной усадки листового элемента, к которому ранее были приварены ребро или стенка. Например, пояс *1* (рис. 22, *а*) испытывает усадку на базе $Б$ при приварке к нему накладки *2* швом *I*; стенка *3* при этом препятствует поперечной усадке пояса вследствие того, что она ранее присоединена швом *II*, катет которого K. Аналогичная ситуация возникает в коробчатой балке, показанной на рис. 22, *б*, при приварке накладки *2* к поясу *1*, ранее приваренному к стенкам *3* швами с катетом K. Присутствие стенки сильно изменяет распределение поперечной усадки в полке шириной B. На рис. 22, *в* показано фактическое (1) и схематизированное (2) распределение поперечной усадки. Многочисленными опытами было показано, что при практических расчетах средней поперечной усадки $\Delta_{поп.ср}$ условно можно полагать, что она изменяется скачком: на участке l_c имеет величину Δ_c, а на остальной части сохраняется неизменной. Размер l_c принимают равным $\delta_c + 2K$ (в случае, представленном на рис. 22, *а*) когда стенка приварена с двух сторон, или $\delta_c + K$ (в случае, представленном на рис. 22, *б*), когда стенка приварена швом с одной стороны. Поперечная усадка Δ_c на этом участке l_c определяется по формуле (38) с использованием коэффициента A из табл. 3 для предельно

малых $\frac{q}{v_c\delta}$, т. е. $A = 0{,}15$, и толщины δ в формуле (38), равной $(\delta_п + K)$. Величина $(\delta_п + K)$ отражает эффективную толщину металла, испытывающего усадку. На остальной части полки $(B - l_c)$ усадка $\Delta_{поп}$ вычисляется без учета влияния стенки при толщине $\delta = \delta_п$. Средняя поперечная усадка:

для случая на рис. 22, *а*

$$\Delta_{поп.\,ср} = \frac{l_c\Delta_c + (B - l_c)\,\Delta_{поп}}{B}; \qquad (40)$$

для случая на рис. 22, *б*

$$\Delta_{поп.\,ср} = \frac{2l_c\Delta_c + (B - 2l_c)\,\Delta_{поп}}{B}. \qquad (41)$$

Если угловой шов образован за несколько проходов (рис. 23), то поперечная усадка от отдельных проходов суммируется, однако необходимо учитывать следующее. Слои *2* или *4*, которые укладываются рядом со слоем *1* на элемент, испытывающий поперечную усадку на базе *Б*, вызывают поперечную усадку, составляющую 0,5—0,7 от усадки, вызванной первым проходом. Слои типа *3* и *5*, смещенные на привариваемый элемент (на стенку или на нахлесточный лист), дополнительной поперечной усадки не создают. Рекомендации по определению поперечной усадки в многослойных стыковых швах можно найти в работе [10].

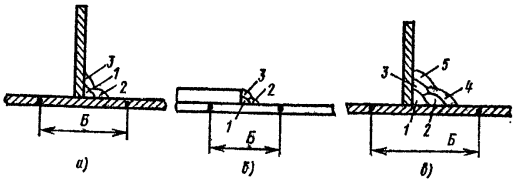


Рис. 23. Расположение слоев в многослойном угловом шве:

а, б — трехпроходное тавровое и нахлесточное соединение; *в* — пятипроходное тавровое соединение

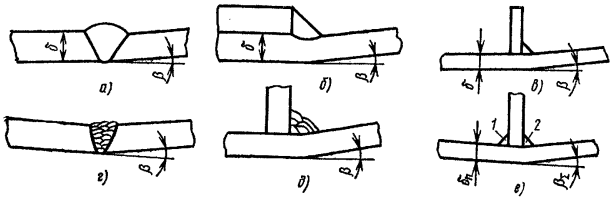


Рис. 24. Угловые перемещения β в различных сварных соединениях

Угловое перемещение β. Вследствие неравномерной поперечной усадки по толщине листа δ (рис. 24, *а—в*) или вследствие неравномерной усадки многослойного шва (рис. 24, *г, д*) возникает поворот одной части пластины относительно другой, в результате чего появляется угловое перемещение β.

При наплавке валика на пластину или при укладке угловых швов величина β зависит от отношения глубины H провара к толщине δ пластины, формы провара, его ширины, скорости сварки и длины шва. Общая закономерность изменения β от H/δ показана на рис. 25. При сварке втавр двумя однопроходными угловыми швами (см. рис. 24, *е*) угол β_Σ представляет собой сумму углов: *1*—β_1 от неравномерной усадки листа $\delta_п$ при сварке шва; *2*—β_2 от неравномерной усадки листа при сварке шва; $\beta_ш$ от усадки собственно шва *2* в направлении его гипотенузы:

$$\beta_\Sigma = \beta_1 + \beta_2 + \beta_ш. \qquad (42)$$

Величина $\beta_ш$ невелика по сравнению с β_1 и β_2. Приблизительно β_Σ можно считать как удвоенную величину угла β_1. На рис. 26 представлены данные о β_Σ в зависимости от $K/\delta_п$ в [12]. Примерно до $K = 0{,}5\ \delta_п$ угловое перемещение $\beta_\Sigma = 2\beta_1 \approx 2\beta_2$ тем больше, чем больше катет шва. Но один и тот же катет может быть выполнен при различных погонных энергиях сварки, т. е. при разном количестве погонной энергии $q_{п.\,пр}$, вводимой в пояс. Поэтому имеется рассеяние при одном и том же $K/\delta_п$. Бо́льшим погонным энергиям проплавления $q_{п.\,пр}$ на этом участке соответствуют бо́льшие перемещения β_Σ. При больших погонных энергиях $q_{п.\,пр}$ наступает почти полный провар пояса при относительно малых $K/\delta_п$, и перемещения β_Σ начинают уменьшаться. При малых энергиях проплавления $\frac{q_{п.\,пр}}{\delta_п^2} = 7500\frac{K^2}{\delta_п^2}$ перемещение β_Σ возрастает вплоть до $K = \delta_п$. Для приближенных расчетов на участке восходящих ветвей кривых на рис. 25 рекомендуется прямая

$$\beta_\Sigma = 0{,}1\left(\frac{K}{\delta_п} - 0{,}1\right). \qquad (43)$$

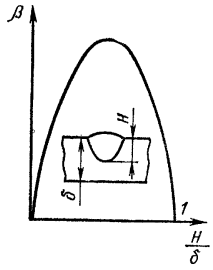


Рис. 25. Характер зависимости углового перемещения β от относительной глубины провара H/δ

Путем перестроения кривой $\frac{q_{п.\,пр}}{\delta_п^2} = 10\,800\frac{K^2}{\delta_п^2}$ на рис. 26 получена зависимость β_Σ для разных катетов в функции $\delta_п$ (рис. 27), которая относится к сварке сталей. Аналогичный вид имеют кривые и для алюминиевых сплавов. На рис 28 приведены кривые для определения β_Σ при сварке двух угловых однопроходных швов в тавровом соединении из алюминиевых сплавов АМг5 и АМг6. Данные получены экспериментально при толщинах полок 10,16, 30,40 мм и соответственно толщинах стенок 8,10 и 20 мм. Швы с катетами 6—10 мм на полках толщиной до 20 мм выполняли электродной проволокой диаметром 2 и 3 мм; с катетами 10—14 мм на полках толщиной более 20 мм —проволокой диаметром 3 и 4 мм; сварка автоматическая «в лодочку» на токах 230—450 А с проплавлением вершины угла; второй шов сваривали в противоположном направлении.

Большое разнообразие вариантов укладки многослойных стыковых и угловых швов затрудняет аналитическое описание β. В этих случаях целесообразно использовать экспериментальный путь определения β на образцах.

Смещение Δ_z. Имеется ряд причин, вызывающих перемещение краев свариваемых встык листов в направлении OZ — перпендикулярно к поверхности пластин; это — неравномерный нагрев металла по толщине, потеря устойчивости тонкого металла, перемещения в радиальном направлении при сварке оболочек, неправильная сборка и другие. Довольно заметны перемещения краев алюми-

ниевых оболочек при сварке кольцевых швов. Смещение Δ_z возникает тогда, когда эти перемещения неодинаковы, например, при сварке тонкостенной обе-

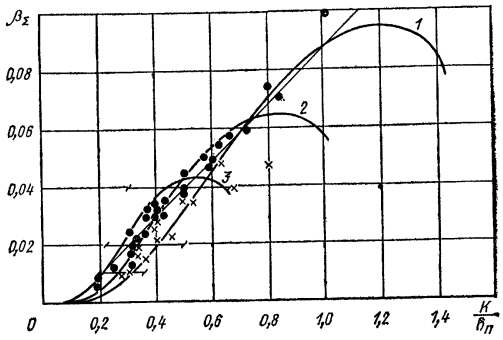


Рис. 26. Зависимость угловых перемещений β_Σ поясных стальных листов от отношения $K/\delta_п$ при разных

$\frac{q_{п.пр}}{\delta_п^2}$ (Дж/см³); *1*: $-7500\left(\frac{K}{\delta_п}\right)^2$; *2*: $-10800\left(\frac{K}{\delta_п}\right)^2$;

3: $-16200\left(\frac{K}{\delta_п}\right)^2$

чайки с жестким шпангоутом. На рис. 29 приведен пример, показывающий, что тонкостенная обечайка от нагрева удлиняется в окружном направлении и создает вследствие этого перемещения w в радиальном направлении. Кромка

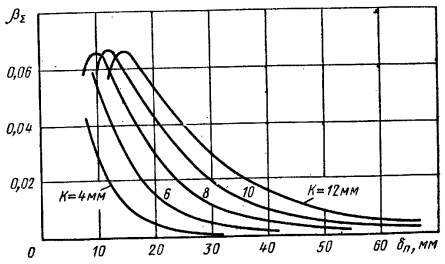


Рис. 27. Зависимость угловых перемещений β_Σ от толщины поясного листа $\delta_п$ и катета K угловых швов при сварке сталей с $q_{п.пр} = 10\,500\,K^2$

жесткого шпангоута перемещается незначительно. В момент сваривания фиксируется разность перемещений w в виде смещения Δ_z, которое сохраняется и после полного остывания.

Смещение Δ_x. В процессе наплавки валика на пластину поперечные сечения *I—I*, *II—II* и другие (рис. 30, *а*) не остаются плоскими, а искривляются вследствие различного продольного перемещения u точек в направлении оси X. Аналогичная картина наблюдается при сварке по краю пластины (рис. 30, *б*). Максимальные перемещения в пределах рассматриваемого сечения возникают по линии движения источника тепла, т. е. по оси X. Величина перемещений u при прочих равных условиях пропорциональна $\frac{\alpha}{c\gamma}\frac{q}{v_c\delta}$, т. е. зависит от удельной погонной энергии, вводимой в пластину, и теплофизических свойств металла. При сварке двух элементов встык, втавр или внахлестку продольные перемещения u_1 и u_2 свариваемых точек могут быть различными, и шов зафиксирует взаимное смещение $\Delta_x = u_1 - u_2$. При сварке встык одинаковых пластин с равномерным введением тепла в каждую из них такое смещение не возникает.

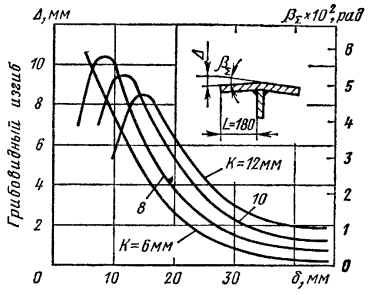


Рис. 28. Зависимость углового перемещения β_Σ для алюминиевых сплавов при сварке двух угловых швов

При сварке втавр или внахлестку даже при введении тепла пропорционально приведенным толщинам свариваемых элементов 2δ и δ, когда температурные поля в них совершенно одинаковы, возникают неодинаковые перемещения u_c середины пластины и $u_к$ края пластины. Величина $u_к$ примерно в 1,5 раза больше u_c. В мо-

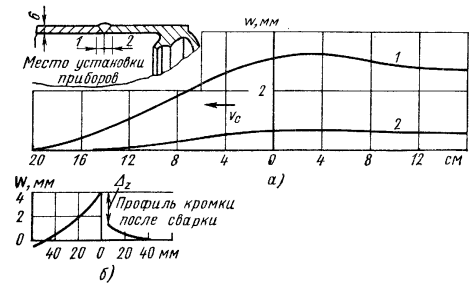


Рис. 29. Перемещения w в зоне кольцевого шва цилиндрической оболочки из алюминиевого сплава:

а — временные в процессе сварки, источник тепла находится в точке *О*; *б* — остаточные; *1* и *2* — места установки индикаторов и кривые, соответствующие их показаниям

мент сваривания взаимное смещение Δ_x фиксируется швом и обнаруживается после полного остывания. В случае непропорционального введения тепла в свариваемые элементы смещение Δ_x может уменьшаться или увеличиваться. Величина Δ_x составляет несколько десятых долей миллиметра для металла толщиной

5—10 мм. Взаимные смещения Δ_x могут возникать при контактной точечной или шовной сварке внахлестку вследствие смещения одного листа относительно другого в результате силового воздействия электродов или роликов.

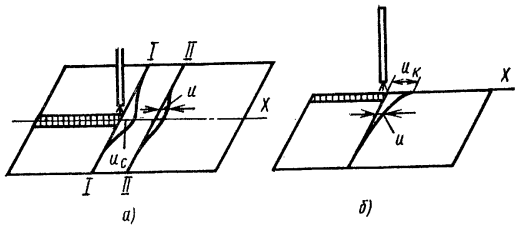


Рис. 30. Схемы искривления поперечных сечений пластин при сварке:

а — по середине; *б* — по краю

Перемещения элементов конструкций. Перемещения и деформации в зоне сварных соединений являются причиной перемещений элементов конструкций. Наиболее существенны в практическом отношении следующие виды перемещений: 1) временные перемещения свариваемых пластин в их плоскости; 2) изгиб и укорочение балок от продольных и поперечных швов; 3) скручивание балок относительно продольной оси; 4) искривление поверхностей, образованных листовыми элементами, вследствие угловых перемещений β; 5) потеря устойчивости листовых элементов в результате действия сжимающих остаточных напряжений; 6) перемещения в оболочках. Существуют также многочисленные другие виды искажений формы и размеров сварных конструкций.

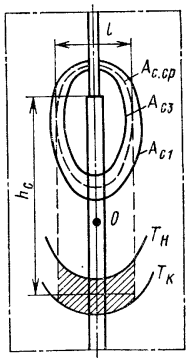


Рис. 31. Зоны структурных превращений при сварке

Временные перемещения в плоскости пластин. В процессе сварки пластин встык вследствие продольных и поперечных перемещений может возникать расхождение или сближение свариваемых кромок, особенно существенное при электрошлаковой сварке. Указанные перемещения формируются под воздействием следующих основных процессов: а) поперечная усадка металла позади сварочной ванны, образующаяся постепенно и неравномерно по мере отдачи тепла в воздух, вызывает поступательное сближение пластин $\Delta_{пос}$ и угловой поворот θ, закрывающий зазор впереди ванны; б) структурные $\gamma \rightarrow \alpha$-превращения в сталях в процессе охлаждения шва и околошовной зоны (заштрихованный участок на рис. 31), сопровождающиеся расширением этого участка, вызывают поступательный отход пластин друг от друга и угловой поворот их, создающий вначале закрывание, а в последующем открывание зазора впереди ванны; в) продольный изгиб узких пластин вследствие их неравномерного нагрева по ширине при сварке вызывает увеличение зазора, особенно значительное на большом расстоянии впереди ванны. Сочетание трех перечисленных выше процессов может создавать самые разнообразные изменения зазора при сварке.

На рис. 32, *а* представлена номограмма для определения поступательного сближения при сварке от края пластины

$$\Delta_{пос} = \frac{\alpha' q}{\pi c \gamma \delta v_c} F_\Delta, \qquad (44)$$

а на рис. 32, *б* — номограмма для определения углового поворота

$$\theta = \frac{\alpha' q}{2\pi\lambda\delta} F_\theta, \qquad (45)$$

где α' — коэффициент линейного расширения без учета структурных превращений; для низкоуглеродистых и низколегированных сталей $\alpha' = (16{,}5 \div 17) \times 10^{-6}$ 1/° С.

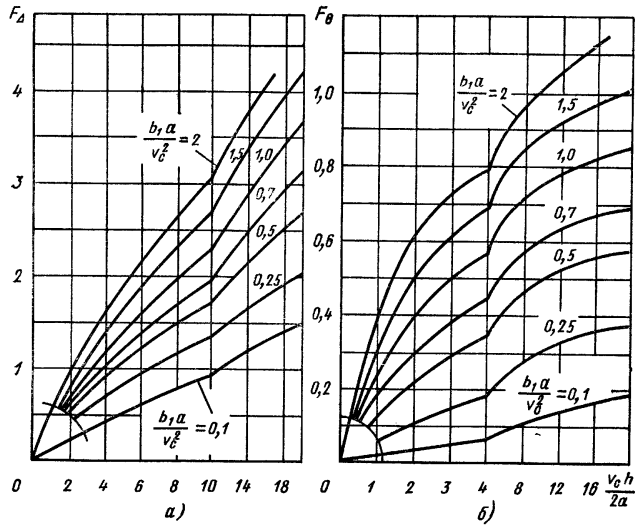


Рис. 32. Номограммы для определения функций F_Δ (*а*) и F_θ (*б*) в зависимости от теплоотдачи $\frac{b_1 a}{v_c^2}$ и длины заваренного шва $\frac{v_c h}{2a}$

Функции F_Δ и F_θ определяют по номограммам на рис. 32 в зависимости от безразмерной теплоотдачи $\frac{b_1 a}{v_c^2}$ и безразмерной длины заваренного шва $\frac{v_c h}{2a}$. Номограмма для определения $\frac{b_1 a}{v_c^2}$ представлена на рис. 33. Если на некоторой длине шва h угловые перемещения устраняли путем закрепления пластин или «сухарями», вставленными в зазор, или действием силы, то для определения углового перемещения $\Delta\theta$, возникшего на участке шва от h_1 до h_2, необходимо из θ_2 вычесть θ_1.

Зона структурных превращений шириной l на рис. 31 ограничена изотермой $A_{c.ср}=\frac{A_{c1}+A_{c3}}{2}$, определяющей зону структурных превращений при нагреве, и изотермами $T_н$ и $T_к$, соответствующими температуре начала и конца структурного превращения при охлаждении. При расположении зоны превращений на расстоянии h_c ниже середины заваренного участка шва O зазор закрывается, а при расположении ее выше O — открывается. Численное определение приведено в работе [5].

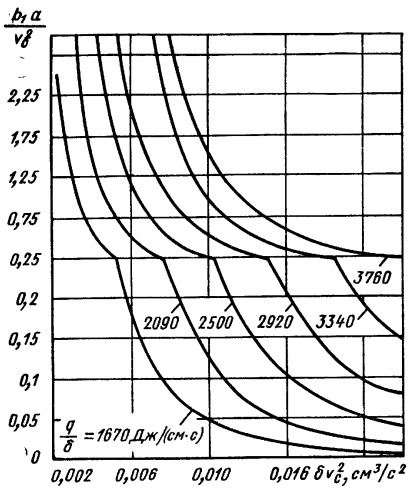


Рис. 33. Номограмма для определения теплоотдачи $\frac{b_1 a}{v_c^2}$ в низкоуглеродистых и низколегированных сталях

Для определения изгиба узких полос от неравномерного нагрева расчетных формул и номограмм не имеется. Для устранения этого вида перемещений свариваемые пластины следует скреплять между собой на конце, чтобы предотвратить расхождение концов.

Изгиб и укорочение балок. Перемещения в балках от продольных и поперечных швов определяют раздельно.

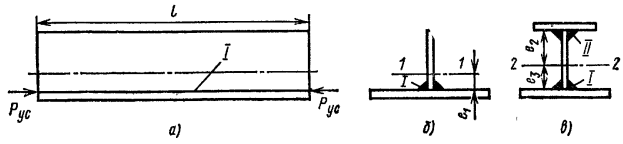


Рис. 34. Сварная балка таврового профиля под действием усадочной силы P_{yc}, вызывающей изгиб и укорочение

Продольные швы *I* (рис. 34, *а*) создают усадочную силу P_{yc}, которая вызывает изгиб и укорочение балки. Максимальный прогиб

$$f=\frac{Ml^2}{8EJ}; \tag{46}$$

угловой поворот концов

$$\theta=\frac{Ml^2}{EJ}; \tag{47}$$

продольное укорочение

$$\Delta_{пр}=\frac{P_{yc}l}{EF}, \tag{48}$$

где

$$M=P_{yc}e_1. \tag{49}$$

Величину усадочной силы определяют по формуле (19) в соответствии с рекомендациями, которые изложены в работе [5]. Эксцентриситет e_1 силы P_{yc} относительно оси *1—1*, проходящей через центр тяжести сечения балки (рис. 34, *б*), находится из условия, что сила P_{yc} приложена примерно на стыке стенки и пояса. В формулах (46)—(48) J — момент инерции сечения относительно оси 1—1; F — площадь поперечного сечения.

При последующей укладке продольных швов *II*, например для присоединения еще одной полки к тавру с целью образования двутавра (рис. 34, *в*), прогибы и укорочения от швов *II* определяют отдельно, находя новые эксцентриситет e_2, момент инерции сечения J относительно оси *2—2* и площадь поперечного

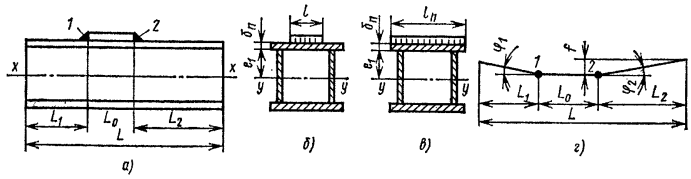


Рис. 35. Схемы изгиба балки вследствие поперечной усадки поперечных швов *1* и *2*

сечения двутавра $F_э$. Прогибы суммируют с учетом их знака: в данном примере они направлены противоположно. В случае, если балка, состоящая из нескольких элементов (рис. 34, *в*), вначале собрана на прихватках, а затем сваривается швами *I* и *II*, то при вычислении прогибов и укорочений предполагают, что швы обеспечивают достаточно жесткую связь между элементами, и в расчет вводят момент инерции J и площадь F всего поперечного сечения, а также эксцентриситет $e_э$ для усадочной силы от швов *I* и эксцентриситет e_2 для усадочной силы от швов *II*.

Иногда в расчетах во внимание принимают последовательность укладки, чтобы учесть влияние напряженного состояния металла на усадочную силу. В этом случае необходимо использовать формулу (34) для определения усадочной силы.

Поперечные швы, расположенные перпендикулярно к продольной оси балки и присоединяющие различные элементы, вызывают укорочение балок и, если они смещены относительно центра тяжести поперечного сечения балки, их изгиб. Для определения перемещений балки вначале необходимо определить усадку $\Delta_{поп}$ в зоне уложенного шва. На рис. 35, *а* и *б* показан простейший пример приварки полосы угловыми швами *1* и *2*. От шва *1* усадку в направлении x — x испытывает верхний пояс на участке площадью $F_э=l\delta_п$ (рис. 35, *б*). Величина $\Delta_{поп}$ может быть определена по формуле (38) с учетом тепла, вводимого в полку, по формуле (39). Если поперечный шов пересекает участки, к которым приварены стенки, как это показано на рис. 34, *в*, то средняя поперечная усадка $\Delta_{поп.ср}$ должна быть определена по формулам (40) или (41) с учетом разъяснений, данных к рис. 21.

После определения средней поперечной усадки находят продольное укорочение балки от одного шва

$$\Delta_{пр}=\Delta_{поп.ср}\frac{F_э}{F}, \tag{50}$$

где $F_э$ — площадь поперечного сечения части элемента, где расположен шов, равная $l\delta_п$ на рис. 35, *б* или $l_п\,\delta_п$ на рис. 35, *в*, см²; F — площадь поперечного сечения балки, см².

Продольные укорочения балки от отдельных швов суммируются.

Для определения прогиба балки от поперечных швов необходимо найти угол поворота двух частей балки относительно друг друга от каждого шва в отдельности (рис. 35, *г*) по следующей формуле:

$$\varphi = \Delta_{поп.\,ср}\frac{S}{J}, \qquad (51)$$

где φ — угол поворота, радианы; S — статический момент части сечения, где расположено сварное соединение, см³; для случая на рис. 35, *б* $S = \left(e_1 + \frac{\delta_п}{2}\right) l\delta_п$; на рис. 35, *в* $S = \left(e_1 + \frac{\delta_п}{2}\right) l_п\delta_п$; J — момент инерции всего сечения балки относительно оси Y—Y, см⁴.

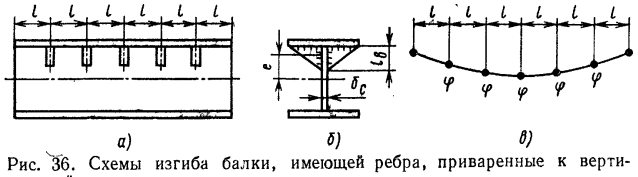


Рис. 36. Схемы изгиба балки, имеющей ребра, приваренные к вертикальной стенке и верхнему поясу

На рис. 35, *г* показаны угол φ_1 от шва *1* и угол φ_2 от шва *2*. Зная угол φ_2 и плечо L_2, можно определить прогиб f.

Если балка имеет большое число поперечных швов (рис. 36, *а*, *б*), то ее прогиб определяется с учетом углов φ (рис. 36, *в*) от отдельных швов и длин участков между швами. Методика расчета укорочения и изгиба балки от усадки сварных соединений, находящихся на вертикальных стенках, остается той же самой (рис. 36). В формулах (50) и (51) необходимо использовать $F_э = l_в\delta_с$ и $S = el_в\delta_с$, т. е. $F_э$ и S для того участка вертикальной стенки, который испытал поперечную усадку. Суммарный прогиб f должен находиться с учетом характера изгиба, представленного на рис. 36, *в*.

Скручивание балок. Причины закручивания балок изучены недостаточно. При сварке балок с тонкостенными открытыми профилями, таких как двутавровые, Н-образные, П-образные и др., скручивание возникает вследствие неодновременной поперечной усадки углового шва по его длине (рис. 37, *а*). Например, шов *1* на рис. 37, *а* по мере его заварки и усадки закручивает верхний пояс, а шов *2* — нижний. Швы *3* и *4* не могут компенсировать перемещений ввиду жесткости швов *1* и *2*. Сборка на прихватках или в кондукторах позволяет избежать закручивания данного вида. Возможна крутильная форма потери устойчивости. Например, крестообразная балка на рис. 37, *б* вследствие действия усадочной силы и появления сжатия в листовых элементах закручивается в результате потери устойчивости.

Балки коробчатого профиля, собранные на прихватках (рис 37, *в*), закручиваются после сварки вследствие продольного смещения Δ_x при выполнении продольного шва (рис. 37, *г*). Такое смещение по своему действию равносильно приложению фиктивных крутящих моментов M (рис. 37, *д*). Угол закручивания балки

$$\varphi = \frac{\Delta_x L}{\omega_к}, \qquad (52)$$

где L — длина балки; $\omega_к$ — удвоенная площадь, охватываемая средней линией тонкостенного сечения, например, сечение, представленное на рис. 37, *в*, имеет $\omega_к = 2 \cdot 30 \cdot 40 = 2400$ см².

Если швы *1* и *4* сварены в одном направлении, а швы *2* и *3* — в противоположном (рис. 37, *в*), то закручивание суммируется от всех четырех швов.

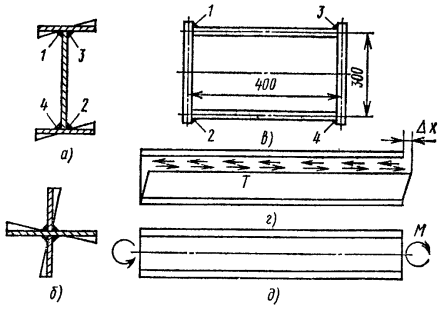


Рис. 37. Закручивание сварных балок

Значительному закручиванию могут подвергаться элементы, у которых $\omega_к$ мало, а также конструкции с большой длиной L.

Искривление поверхностей вследствие угловых перемещений β. Поверхности, образованные листовыми элементами, могут искривляться вследствие неравномерной поперечной усадки, вызывающей появление угловых перемещений β. Примером является приварка набора (рис. 38, *а*) к обшивке корабля. Аналогичный характер искривления возникает при сварке встык закрепленных по контуру листов (рис. 38, *б*). В простейших случаях характер искривления и прогибы

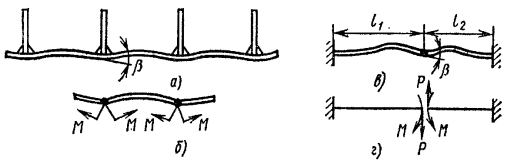


Рис. 38. Схемы для определения перемещений в листах, имеющих угловое перемещение β

могут быть определены расчетом. Зону шва заменяют шарниром (рис. 38, *в* и *г*), а затем прикладывают моменты и силы, которые находят из двух условий:

I. Сумма угловых поворотов слева и справа от шарнира (рис. 38, *г*) должна быть равна угловому перемещению β;

$$|\varphi_1| + |\varphi_2| = \beta. \qquad (53)$$

II. Перемещения слева и справа от шарнира равны:

$$f_1 = f_2. \qquad (54)$$

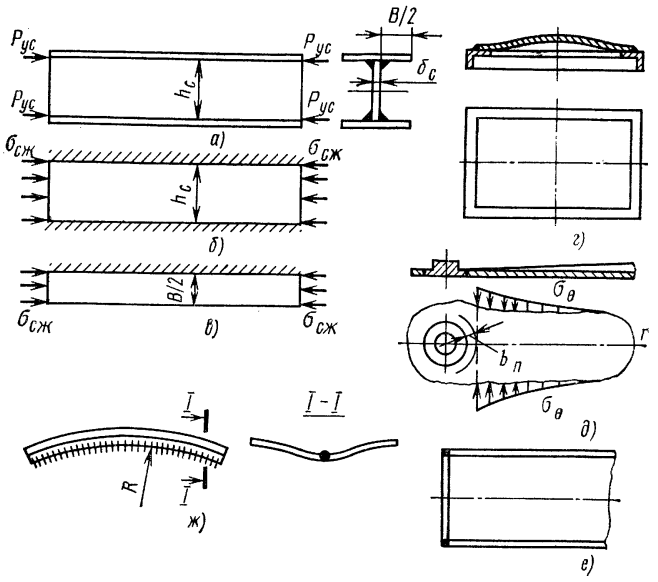


Рис. 39. Примеры потери устойчивости листовых элементов в сварных конструкциях:

а, б, в — балка; *г* — крышка; *д* — лист с вваренным элементом; *е* — плоское днище в сосуде; *ж* — лист, сваренный встык

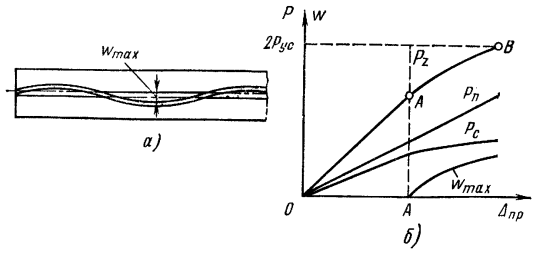


Рис. 40. Определение максимального прогиба стенки, потерявшей устойчивость под действием сжимающих напряжений

В случае пересекающихся элементов набора и швов искривления имеют сложный характер. Эти случаи подробно описаны в работе [10].

Потеря устойчивости листовых элементов. Потеря устойчивости возникает в результате действия остаточных напряжений сжатия, вызванных усадкой металла в зоне сварных соединений.

Для определения возможности потери устойчивости необходимо найти действующие усадочные силы и напряжения, условия закрепления рассматриваемых элементов по контуру, вычислить критические силы и сравнить их с действующими. На рис. 39, *а* показана двутавровая сварная балка, вертикальный лист которой и пояса испытывают продольные сжимающие напряжения

$$\sigma_{сж} = \frac{2P_{ус}}{F_б}, \tag{55}$$

где $2P_{ус}$ — усадочные силы от поясных швов; $F_б$ — площадь поперечного сечения балки.

Вертикальную стенку можно рассматривать как полосу, заделанную по двум длинным сторонам (рис. 39, *б*), а пояс — как полосу, один край которой свободен, а другой заделан (рис. 39, *в*).

Критическое напряжение для стенки

$$\sigma_{кр} = \frac{7\pi^2 E}{12(1-\mu^2)}\left(\frac{\delta_с}{h_п}\right)^2, \tag{56}$$

а для пояса (см. рис. 38, *в*)

$$\sigma_{кр} = \frac{1{,}33\pi^2 E}{12(1-\mu^2)}\left(\frac{2\delta_п}{B}\right)^2. \tag{57}$$

Если $\sigma_{сж} > \sigma_{кр}$, то произойдет потеря устойчивости.

Потеря устойчивости нередко происходит при приварке листа по контуру (рис. 39, *г*), когда создается двухосное сжатие; в случае вварки в лист какого-либо элемента, когда возникают окружные сжимающие напряжения σ_θ (рис. 39, *д*); при вварке плоского днища (рис. 39, *е*), а также при сварке листов между собой (рис. 39, *ж*).

Определение перемещений w_{max} после потери устойчивости рассмотрим на примере стенки двутавровой балки (рис. 40, *а*). В закритической области после потери устойчивости стенки возникнет некоторое укорочение балки $\Delta_{пр}$. На рис. 40, *б* $\Delta_{пр}$ отложено по горизонтальной оси. При этом сила $P_п$, воспринимаемая поясами, будет изменяться линейно, а сила $P_с$, воспринимаемая стенкой, после потери устойчивости в точке A изменяется нелинейно. Для решения рассматриваемой задачи необходимо располагать нелинейной зависимостью $P_с$ от $\Delta_{пр}$. В точке B, соответствующей равновесию сил, сумма $P_\Sigma = P_п + P_с$ равна усадочным силам $2P_{ус}$. На рис. 40, *б* показана зависимость w_{max} от $\Delta_{пр}$, которой также необходимо располагать для решения задачи. В более сложных случаях потери устойчивости для расчетов могут быть применены энергетические методы [5].

Перемещения в оболочках. Наиболее распространенными сварными соединениями в оболочках являются кольцевые, продольные и круговые швы (рис. 41).

В процессе выполнения однопроходного кольцевого шва электрошлаковым способом свариваемые оболочки поворачиваются относительно друг друга и сближаются, в результате чего происходят сложные изменения сварочного зазора [4] и возникает излом продольной оси оболочек. В тонкостенных оболочках из сталей и титановых сплавов вследствие окружной усадки зоны пластических деформаций кольцевых швов периметр уменьшается (рис. 42) в зоне протяженностью $l = \frac{3\pi}{4}\frac{\sqrt{r\delta}}{\sqrt[4]{3(1-\mu^2)}}$. Радиальное перемещение может достигать величины,

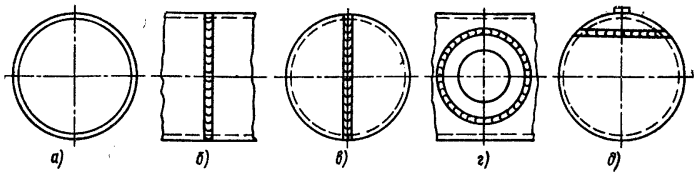


Рис. 41. Простейшие типы стыковых соединений в элементах оболочек:

а, б — продольный и кольцевой швы в цилиндрической оболочке; *в* — кольцевой шов в сферической оболочке; *г* и *д* — круговые швы в цилиндрической и сферической оболочках

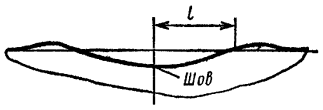


Рис. 42. Искривление образующей цилиндрической оболочки в зоне кольцевого шва

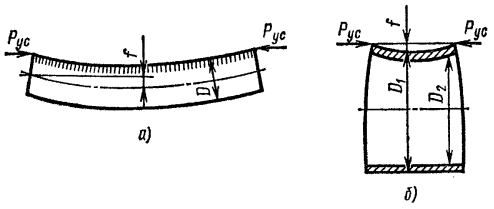


Рис. 43. Перемещения в цилиндрических оболочках от продольных швов:

а — длинных; *б* — коротких

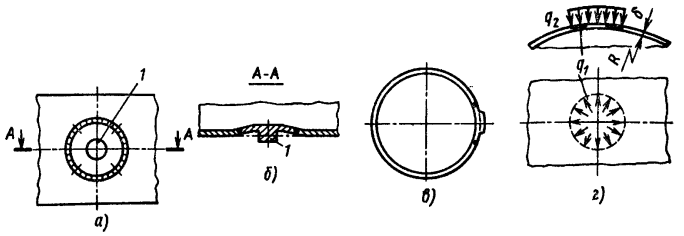


Рис. 44. Остаточные перемещения при вварке элемента круговым швом:

а, б — в цилиндрической оболочке; *в* — в сферической оболочке; *г* — схема действия сил, вызывающих перемещение при усадке круглого пятна нагрева

равной толщине δ и более. В оболочках из алюминиевых сплавов наблюдается некоторое местное увеличение периметра в зоне шва.

Продольные швы, сокращаясь в результате усадки, вызывают изгиб длинных оболочек (рис. 43, *а*), величину которого можно определить по формуле (46), и местное искажение окружности у коротких оболочек, выражающееся в росте D_2 и уменьшении D_1 по сравнению с D (рис. 43, *б*). Аналогичное искажение формы происходит также у концов длинных оболочек.

Круговые швы на сферических и цилиндрических оболочках (рис. 44) создают перемещение вваренного элемента к оси оболочки, величина которого зависит от количества введенной при сварке энергии и жесткости оболочки. Нагрев круглого пятна при точечной сварке или при приварке бобышки (рис. 44, *г*) также вызывает перемещение к центру оболочки, аналогичное перемещению от сил q_1 и q_2.

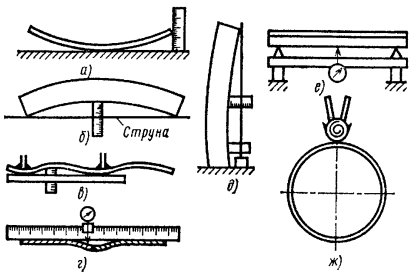


Рис. 45. Схемы измерения остаточных перемещений:

а — на плите; *б* — струной и линейкой; *в* — двумя линейками; *г* — индикаторной головкой; перемещающейся вдоль линейки; *д* — вертикальной нитью; *е* — индикатором в специальном приспособлении; *ж* — периметромером путем обтяжки оболочки струной

Экспериментальные методы определения перемещений. Перемещения отдельных точек и элементов сварных конструкций могут быть измерены как в процессе сварки, так и после полного остывания. Механические устройства для измерения временных перемещений состоят обычно из следующих основных частей: а) узла сопряжения устройства со свариваемой деталью для получения перемещения; б) передаточных деталей; в) датчика, преобразующего перемещения в сигнал для наблюдения или записи. Узел сопряжения по конструкции должен быть таким, чтобы в зоне контакта с деталью не возникали проскальзывания или пластические деформации в направлении измеряемого перемещения. Передаточные детали должны либо дополнительно охлаждаться, чтобы не изменять свои размеры, либо быть так спроектированы, чтобы их расширение не влияло на результаты измерения. Датчики должны быть защищены от возможного нагрева.

Остаточные перемещения определяют с применением обычных измерительных инструментов: линеек, измерительных лент и индикаторных головок (рис. 45). Для этой цели снимают также профилограммы, измеряют прогибы с помощью отвеса или натянутой струны; периметры оболочек измеряют струнным периметромером и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Боли Б., Уэйлер Д.** Теория температурных напряжений. М., Мир, 1964.
2. **Винокуров В. А., Григорьянц А. Г.** Теоретическое определение временных и остаточных деформаций и напряжений при сварке пластин применительно к титановым и алюминиевым сплавам — Сварочное производство, 1968, № 5, с. 2—4.
3. **Винокуров В. А., Григорьянц А. Г., Шубладзе Т. Г.** Определение временных деформаций и напряжений при сварке для случая плоского напряженного состояния — Сварочное производство, 1976, № 8, с. 1—4.
4. **Винокуров В. А., Калинкин В. Н.** Исследование перемещений цилиндрических обечаек при электрошлаковой сварке кольцевого шва. — Автоматическая сварка, 1973, № 6, с. 5—9.

5. **Винокуров В. А.** Сварочные деформации и напряжения. М., Машиностроение, 1968. 236 с.
6. **Гатовский К. М.** Определение сварочных деформаций и напряжений с учетом структурных превращений металла. — Сварочное производство, 1973, № 11, с. 3—6.
7. **Гуща О. И., Лебедев В. К.** Измерение остаточных напряжений в сварных соединениях без разрушения — Автоматическая сварка, 1969, № 1, с. 42—44.
8. **Зенкевич О.** Метод конечных элементов в технике. М., Мир, 1975. 275 с.
9. **Игнатьева В. С.** Приближенные методы вычисления остаточных сварочных напряжений при однопроходной стыковой сварке. — В кн.: Стальные конструкции. М., Госстройиздат, 1962.
10. **Кузьминов С. А.** Сварочные деформации судовых корпусных конструкций. Л., Судостроение, 1974. 286 с.
11. **Махненко В. И.** Расчетные методы исследования кинетики сварочных напряжений и деформаций. Киев, Наукова думка, 1976. 320 с.
12. **Окерблом Н. О., Демянцевич В. П., Байкова И. П.** Проектирование технологии изготовления сварных конструкций. Л., Судпромгиз, 1963. 602 с.
13. **Орехов Г. Т.** Определение остаточных сварочных напряжений магнитоупругим методом — Автоматическая сварка, 1974, № 4, с. 30—32.
14. **Постнов В. А., Хархурим И. Я.** Метод конечных элементов в расчетах судовых конструкций. Л., Судостроение, 1974.
15. **Прохоров Н. Н., Прохоров Н. Н.** Расчет деформаций в процессе сварки при наложении валика на кромку пластины — Автоматическая сварка, 1964, № 5.
16. **Талыпов Г. Б.** Сварочные деформации и напряжения. Л., Машиностроение, 1973. 280 с.
17. **Финк К., Рорбах Х.** Измерение напряжений и деформаций. М., Машгиз, 1961.

Глава 13

МЕТОДЫ УМЕНЬШЕНИЯ СВАРОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ, НАПРЯЖЕНИЙ И ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

В подавляющем большинстве случаев возникающие при сварке деформации, напряжения и перемещения отрицательно влияют на технологический процесс производства сварных конструкций, а также на их качество и работоспособность. Методы уменьшения влияния сварочных деформаций, напряжений и перемещений условно делят на две группы в зависимости от того, предназначены ли они для уменьшения сварочных напряжений или для уменьшения искажений форм и размеров сварных конструкций.

ВЛИЯНИЕ СВАРОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ, НАПРЯЖЕНИЙ И ПЕРЕМЕЩЕНИЙ НА ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ И КАЧЕСТВО КОНСТРУКЦИЙ

Влияние пластических деформаций и остаточных напряжений обычно рассматривают совместно.

1. В процессе обработки резанием при съеме металла, имеющего остаточные напряжения, происходит перераспределение сил внутри детали. Возникает деформация ранее обработанных поверхностей и искажение достигнутой точности. Если деталь закреплена таким образом, что в процессе резания искажения не возникают, то они обнаруживаются впоследствии после освобождения детали от закреплений.

2. Если рабочие напряжения, складываясь с остаточными, создают такие напряженные состояния, при которых происходят пластические деформации в металле, то жесткость детали при первом нагружении оказывается меньше расчетной. После снятия нагрузки обнаруживаются искажения размеров и точности, которые были до нагружения детали. При последующих нагружениях циклического характера величина искажений может возрастать. Например, для случая, представленного на рис. 1, участок *2*, в котором действуют остаточные напряжения растяжения, близкие к $\sigma_т$, выключается из работы вследствие протекания пластических деформаций (рис. 1, *в*). Остаточный прогиб

$$f_{ост} = f\left(\frac{J_x}{J'_x} - 1\right), \qquad (1)$$

где f — прогиб под нагрузкой балки без остаточных напряжений; J_x — полный момент инерции сечения балки относительно оси x—x (рис. 1, *в*); J'_x — момент инерции части сечения балки относительно оси x'—x' (заштриховано на рис. 1, *в*).

3. Остаточные напряжения сжатия отрицательно влияют на местную устойчивость тонкостенных элементов сварных конструкций. Нередко потеря устойчивости тонколистовых элементов возникает только от остаточных напряжений.

4. Пластические деформации металла при сварке, его старение, в особенности в зоне концентраторов, остаточные напряжения растяжения могут значительно понизить сопротивляемость сварной конструкции хрупким разрушениям. Это один из наиболее существенных случаев отрицательного влияния сварки на хладноломкость сварных конструкций. Происходит снижение деформационной

способности сварных соединений, смещение критических температур хрупкости в область более высоких температур.

5. Остаточные напряжения растяжения снижают прочность сварных соединений и конструкций при переменных нагрузках. Отрицательное влияние наиболее заметно, когда величина и концентрация рабочих напряжений невелики [2, 6] (см. также гл. 4).

6. Остаточные трехосные напряжения растяжения с примерно равными компонентами образуют такую схему напряжений, при которой, несмотря на большую величину отдельных компонентов, они не способны вызывать пластическую деформацию металла из-за низкой величины эквивалентного напряжения. Такие напряженные состояния способны вызвать хрупкие разрушения, в особенности при невысоком качестве металла и дефектах в нем. Жесткая схема напряжений возникает тогда, когда сокращению металла при остывании препятствуют во всех трех направлениях более холодные участки металла.

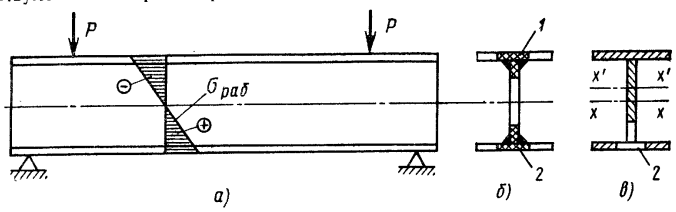


Рис. 1. Схемы нагружения сварной балки с остаточными напряжениями:

а — балка; *б* — зоны с высокими остаточными напряжениями растяжения; *в* — сечение балки, воспринимающее нагрузку при изгибе (заштриховано)

7. Остаточные напряжения создают в сварной конструкции потенциальную энергию, которая частично или в значительной степени может быть истрачена на распространение начавшегося разрушения. Основное количество энергии сосредоточено в зонах с высокими растягивающими напряжениями. Это подтверждает формула, выражающая количество энергии в единице объема при одноосном напряжении:

$$U_1 = \frac{\sigma^2}{2E}. \qquad (2)$$

8. Остаточные напряжения растяжения и пластические деформации могут вызывать интенсификацию процессов коррозии и коррозионного растрескивания [5] (см. также гл. 7).

9. Деформации металла и напряжения в высокотемпературной зоне сварного соединения, которые возникают непосредственно в процессе сварки, способны вызвать кристаллизационные (горячие) трещины (см. гл. 14).

10. Остаточные напряжения растяжения являются одной из основных причин образования холодных трещин при сварке (см. гл. 14).

Влияние перемещений, вызванных сваркой, также может оказаться неблагоприятным в некоторых случаях.

1. Остаточные перемещения, как правило, затрудняют сборку элементов сварных конструкций или делают ее даже невозможной. Это происходит потому, что форма и размеры стыкуемых участков конструкции не совпадают с проектными, требуют правки, подгонки и специальных мер во время сварки, чтобы обеспечить ее качественное выполнение.

2. Временные перемещения могут отрицательно влиять на качественное ведение процесса сварки, например в случае сварки тонкого металла, когда кромки теряют устойчивость, при электрошлаковой сварке, когда существенно изменяется зазор, и во многих других случаях.

3. Значительные остаточные перемещения нередко являются причиной, из-за которой приходится назначать увеличенные припуски на механическую обработку, так как возникающие искажения сварной конструкции не позволяют обработать поверхности с получением заданных чертежом размеров.

4. Некоторые виды перемещений изменяют геометрические характеристики сечений, например уменьшают момент инерции сечения двутавровой балки при появлении грибовидности полки. Это приводит к росту напряжений от нагрузок.

5. Чрезмерные искажения формы тонкостенного элемента конструкции снижают его устойчивость. Изгибы сварных стоек и других элементов, работающих на сжатие, ухудшают их несущую способность.

6. Эксплуатационные свойства некоторых машин и других объектов, выполненных сваркой, могут быть заметно ухудшены возникшими остаточными перемещениями. Например, сопротивление потоку жидкости или газа увеличивается в судах и летательных аппаратах из-за искажений формы поверхностей. Силы трения и сопротивления в машинах и механизмах могут возрастать, если после сварки, вызвавшей искажение размеров, не проводится последующая механическая обработка.

7. Остаточные перемещения после сварки могут превосходить заданные чертежами допуски на отклонения от проектных размеров. Устранение возникших перемещений требует дополнительных затрат средств.

8. Искажения формы могут приводить к неудовлетворительному внешнему виду изделий, например, автомобилей, вагонов, холодильников и др.

МЕТОДЫ УМЕНЬШЕНИЯ СВАРОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ В МЕТАЛЛЕ

Существует много методов и технологических приемов регулирования и уменьшения напряжений и деформаций, возникающих при сварке. В принципиальном отношении они могут быть сведены к трем главным способам:

а) уменьшению объема металла, участвующего в пластической деформации в процессе сварки, и величины пластической деформации, возникающей на стадии нагрева металла;

б) созданию пластических деформаций противоположного знака в тех зонах, которые оказались вовлеченными в пластическую деформацию на стадии нагрева; это может быть обеспечено как в процессе сварки, так и после ее завершения;

в) использованию принципа компенсации возникших пластических деформаций, например симметричному расположению швов, возможности свободной усадки, созданию пластических деформаций в других зонах, чтобы получить равномерную усадку всего элемента, и т. п.

Известны следующие методы уменьшения сварочных напряжений.

Предварительный и сопутствующий подогревы при сварке. Путем подогрева можно уменьшить разность температур между отдельными точками тела. Это приводит к уменьшению пластических деформаций и напряжений. В ряде случаев требуется меньшее вложение тепла при сварке, что может уменьшить размеры зон пластических деформаций. Подогрев снижает предел текучести и модуль упругости металла, что также может привести к уменьшению пластических деформаций и напряжений. Подогрев изменяет скорость охлаждения и характер структурных превращений. В материалах, испытывающих структурные превращения, изменяются эпюры остаточных напряжений и свойства металла. В целом подогрев, как правило, уменьшает остаточные напряжения.

Проковка и поверхностный наклеп металла. Проковку можно применять для изменения механических свойств металла и структуры, осадки с целью изменения формы (заглаживания), создания напряжений сжатия. Проковку можно проводить по горячему металлу сразу после сварки или после его остывания. Во всех случаях осадка металла в направлении толщины вызывает расширение ме-

талла в перпендикулярном направлении, что снижает напряжения растяжения в зоне проковки или вызывает напряжения сжатия. В зависимости от температуры проковки и количества тепловой энергии, выделяющейся в зоне ударов, последующее охлаждение и сокращение прокованного металла ведет к изменению собственных напряжений, которые могут оказаться после полного выравнивания температуры как сжимающими, так и растягивающими. Различают режимы с малыми скоростями деформирования — до 6—7 м/с, средними скоростями — до 100 м/с и высокими скоростями — свыше 100 м/с [4]. При применении проковки с целью изменения напряжений особое внимание следует обращать на возможность ухудшения пластических свойств металла. Для ряда сплавов наилучшими являются скорости в диапазоне 20—30 м/с [4].

Массивные детали подвергают поверхностному наклепу главным образом для создания напряжений сжатия с целью повышения сопротивления усталостным разрушениям [2]. Проковка имеет преимущество перед другими методами в отношении маневренности и универсальности оборудования.

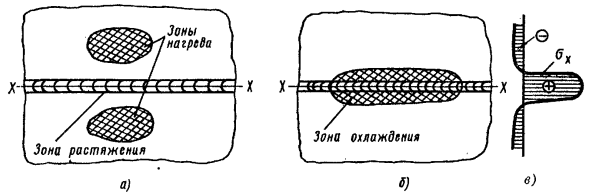


Рис. 2. Схемы расположения зон нагрева (*а*) и зоны охлаждения (*б*) при обработке сварных соединений с целью уменьшения продольных растягивающих напряжений σ_x (*в*)

Импульсивная обработка (взрывом) сварных соединений, предложенная и разработанная ИЭС им. Патона, позволяет создавать напряжения сжатия и является эффективным средством повышения усталостной прочности.

Прокатка зоны сварных соединений или обкатка поверхностей роликами уменьшают растягивающие напряжения, а при значительных давлениях могут создать напряжения сжатия до величины, близкой к пределу текучести металла. Более подробные сведения о прокатке приведены на стр. 390.

Приложение нагрузок к элементам сварных конструкций. Нагрузки в процессе сварки с целью снижения остаточных напряжений используют крайне редко. После полного остывания растяжение или изгиб используют главным образом для уменьшения искажения их размеров и форм; при этом максимальные остаточные напряжения существенно уменьшаются вследствие протекания пластических деформаций при наложении на остаточные напряжения рабочих напряжений от нагрузки и достижения ими предела текучести металла.

Распространен прием уменьшения максимальных остаточных напряжений путем вибрации сварного изделия. Хотя напряжения при этом не могут быть уменьшены до весьма малых величин, достигаемого их уменьшения бывает достаточно для предотвращения последующей деформации детали в процессе ее эксплуатации [4].

Создание неравномерных нагревов или охлаждений широко используют для перераспределения остаточных напряжений. Создавая нагрев вблизи зоны с напряжениями растяжения (рис. 2, *а*), вызывают расширение нагретого металла. Так как зона с напряжениями растяжения, расположенная между зонами нагрева, остается при этом холодной и сопротивляется расширению соседних нагретых участков, то в ней возникают дополнительные напряжения растяжения, которые суммируясь с остаточными напряжениями растяжения, вызывают пластические

деформации металла. Если зону остаточных напряжений растяжения охлаждать (рис. 2, *б*), то она будет сокращаться и, встречая сопротивление со стороны соседних неохлажденных участков, испытывать дополнительные напряжения растяжения и как следствие пластические деформации.

Конкретные приемы термического воздействия могут быть весьма разнообразны [4]. Концентрированный нагрев отдельных зон применяют главным образом для их сокращения после нагрева и остывания. Этот прием используют в основном для термической правки изделия (см. стр. 391). В некоторых случаях его можно применять для перераспределения остаточных напряжений [2].

Отпуск сварных конструкций применяют для изменения структуры и свойств металла, а также для снижения остаточных напряжений. Основное достоинство общего отпуска как средства снижения остаточных напряжений по сравнению с другими методами заключается в том, что напряжения снижаются во всех точках сварной конструкции независимо от сложности ее формы. При этом снижение напряжений не сопровождается такими пластическими деформациями, которые уменьшают пластичность металла. Пластические деформации, приводящие к снижению остаточных напряжений, протекают при достаточно высоких температурах, что благоприятно. При отпуске различают стадии нагрева, выравнивания температур, выдержки и остывания (рис. 3). Наибольшее снижение напряжений, как установлено многочисленными экспериментальными исследованиями [1], происходит на стадии нагрева и определяется температурой отпуска.

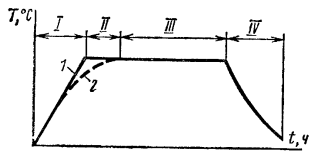


Рис. 3. Стадии отпуска сварных конструкций и изменение температуры во времени:

I — нагрев; *II* — выравнивание; *III* — выдержка; *IV* — охлаждение; *1* — поверхность изделий; *2* — внутренние зоны

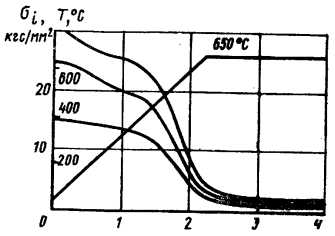


Рис. 4. Релаксация напряжений от различного начального уровня в стали 15ГН4М в состоянии после отжига

Характер снижения остаточных напряжений во времени показан на рис. 4. Он типичен для всех конструкционных материалов. Температуру отпуска назначают, ориентируясь на необходимый уровень снижения остаточных напряжений и на те изменения механических свойств металла, которые возникают в результате отпуска. Чем выше температура отпуска, тем полнее устраняются остаточные напряжения. Однако при этом может наблюдаться нежелательное снижение прочностных свойств металла. Тогда принимают компромиссное решение. Температуры отпуска, обеспечивающие существенное снижение остаточных напряжений, приведены ниже.

Материал	Температура отпуска, °С	Материал	Температура отпуска, °С
Сплавы:		Стали:	
магниевые	250—300	углеродистые, низко- и среднелегированные	580—680
алюминиевые	250—300	аустенитные	850—1050
титановые	550—600		
ниобиевые	1100—1200		

Виды отпуска, закономерности снижения напряжений в зависимости от температуры, свойств металла, характера напряженного состояния и рекомендации по применению отпуска подробно рассмотрены в работе [1].

Прочие методы. Для регулирования уровня и характера распределения остаточных напряжений можно использовать и другие методы, которые, однако, не получили широкого промышленного применения, — это создание искусственных охлаждений зоны сварки для уменьшения размера зоны пластических деформаций, изменение распределенности теплового потока от источников тепла при сварке, регулирование погонной энергии сварки, изменение порядка наложения швов, соответствующий выбор присадочного металла, создание определенных механических свойств металла путем его предварительной термической обработки и др.

МЕТОДЫ УМЕНЬШЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В ЭЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦИЙ ОТ СВАРКИ

Для уменьшения искажения форм и размеров сварных конструкций разработано много способов и мероприятий. Они могут быть использованы: а) на стадии разработки проекта сварной конструкции; б) на стадии, предшествующей сварке, и непосредственно во время сварки; в) после завершения сварки и полного остывания конструкции, т. е. их можно рассматривать как методы правки.

Мероприятия, используемые на стадии разработки проекта сварной конструкции:

1. Назначение минимальных получающихся по расчету на прочность сечений угловых швов. Площадь поперечного сечения и величина погонной энергии сварки при этом сокращаются пропорционально квадрату катета K^2. Примерно пропорционально K^2 уменьшаются усадочная сила и поперечная усадка.

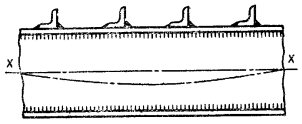


Рис. 5. Сварная балка с несимметричным расположением поперечных швов

2. Назначение и использование способов сварки, обеспечивающих минимальные тепловложения на один проход шва. Многопроходная сварка в этом отношении имеет преимущество перед однопроходной. Следует, однако, иметь в виду и другие требования, относящиеся к качеству металла, скоростям охлаждения, стоимости работ и т. д. при переходе от однопроходной к многопроходной сварке. Контактные способы сварки требуют существенно меньшего вложения тепла, чем дуговые способы.

3. Конструирование элементов балочного типа с таким поперечным сечением и расположением продольных сварных швов, чтобы моменты, создаваемые усадочными силами относительно центра тяжести площади поперечного сечения, были взаимно уравновешены. В этом случае изгиб балок будет минимальным. Не следует располагать по одну сторону поперечные швы (рис. 5); их усадка может создать значительный изгиб балки.

4. В сложных конструкциях объемного типа предпочтение следует отдавать таким конструктивным решениям, которые позволяют вначале осуществить сборку конструкции на прихватках, а затем сварку. Большая жесткость первоначально собранного элемента, как правило, обеспечивает меньшие изгибы конструкции при сварке, чем последовательная сборка и сварка конструкции методом наращивания.

5. В необходимых случаях следует использовать такие конструктивные решения, которые бы позволяли отдельным элементам конструкции беспрепятственно сокращаться, не вызывая искажения формы конструкции в целом. Например, при наличии нахлесточных соединений смещение отдельных элементов происходит свободно, изменяя лишь размер нахлестки.

6. В конструкциях с тонкостенными элементами желательно располагать швы на жестких каркасах, чтобы уменьшить коробление.

7. Если появление значительных искажений от сварки неизбежно, необходимо предусмотреть возможность правки конструкции тем или иным способом. При этом должен быть обеспечен доступ к необходимым местам для правки. Приемы рационального конструирования разнообразны и не исчерпываются перечисленными выше способами.

Мероприятия, используемые на стадии разработки технологии и при осуществлении сварки:

1. Рациональная последовательность выполнения сборочно-сварочных операций. Пути решения этой сложной задачи разнообразны и не могут быть здесь изложены конкретно. В частности, они состоят в том, чтобы выбрать такую последовательность присоединения элементов друг к другу, чтобы остаточные искажения были минимальными. Расчленение конструкции на отдельные узлы, которые могут быть изготовлены с минимальными отклонениями, а затем соединены вместе, также является примером выбора рационального пути ее изготовления. Порядок наложения швов в собранной конструкции также можно рассматривать как средство регулирования величины остаточных перемещений.

2. Назначение экономичных режимов или способов сварки, обеспечивающих снижение тепловложения или такой характер протекающих деформаций, который отвечает предъявляемым требованиям. Например, если требования в отношении излома оси длинной трубы при заварке кольцевого шва очень жесткие, то целесообразно применить многопроходную сварку вместо однопроходной, так как в этом случае можно избежать излома продольной оси трубы в зоне сварного соединения. Подбор присадочных материалов с целью регулирования величины усадочной силы эффективен в отношении материалов, испытывающих структурные превращения при низких температурах.

3. Разработка необходимой оснастки для закрепления собираемых и свариваемых элементов. Закрепление изделий в приспособлениях эффективно лишь в отношении временных перемещений и тех искажений, которые от них возникают при постановке прихваток или в процессе сварки без прихваток. Положительный результат достигается за счет жесткости приспособления. Частными примерами эффективного использования являются: а) прижатие кромок тонких листов или кромок при сварке кольцевых швов; б) скрепление деталей скобами или сухарями при электрошлаковой сварке для уменьшения перемещений. Остаточные прогибы балок при закреплении их в приспособлениях уменьшаются незначительно.

4. Пластическая деформация элементов, подлежащих сварке, с целью создания перемещений, противоположных сварочным. Применяют предварительный изгиб полок балок для уменьшения грибовидности после сварки, раскатывают края цилиндрических или сферических оболочек для уменьшения корсетного сокращения от кольцевого шва, производят местную штамповку вблизи отверстий оболочек перед вваркой в них элементов круговыми швами.

5. Сборка заготовок и назначение их размеров с учетом последующей усадки. Например, использование углового излома (рис. 6, *а*) или сборка с переменным зазором (рис. 6, *б*) для компенсации угловых перемещений, назначение завышенной длины элементов с учетом последующей усадки, раскрой стенки балки с начальной кривизной (рис. 6, *в*). К этим же мероприятиям относятся натяжение листов перед сваркой с целью их удлинения, если они могут потерять устойчивость после сварки вследствие усадки (рис. 6, *г*); удлинение листов путем их предварительного подогрева перед сборкой на прихватках (рис. 6, *д*).

6. Уменьшение площади зоны пластических деформаций путем искусственного охлаждения свариваемых элементов, например путем полива водой, обдува газом или газоводяной смесью, подвода охлаждаемых зажимов в зону сварки. В некоторых случаях положительный эффект может быть достигнут путем общего подогрева изделия.

7. Создание напряжений растяжения в зоне сварного соединения путем изгиба или растяжения детали в приспособлении. Сварка по растянутому металлу уменьшает усадочную силу.

8. Создание непосредственно после сварки пластических деформаций удлинения металла путем его проковки либо специальным инструментом, например при сварке плавлением, либо сварочным электродом при точечной контактной сварке.

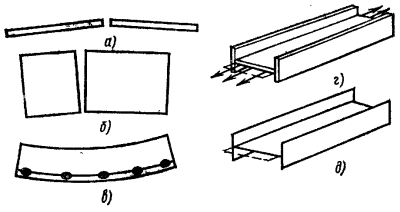


Рис. 6. Схемы создания перемещений, противоположных сварочным

9. Создание в процессе точечной сварки направленного смещения свариваемых элементов для компенсации ожидаемой усадки. Например, потеря устойчивости тонкого листа может быть предотвращена (рис. 7) путем его сдвига относительно каркаса в процессе сварки.

Правка элементов конструкций после сварки. 1. В случае механической правки используют разнообразные приемы и методы для создания пластических деформаций в зонах, где металл испытал усадку. Это гибка, растяжение, проковка, прокатка, осаживание участков металла по толщине под прессом, приложение вибрации и т. п. При этом в пределах зоны пластических деформаций при сварке стремятся получить сумму остаточных пластических деформаций, равную нулю, что обеспечивает $P_{ус} = 0$. Для случая прокатки сварных соединений ци-

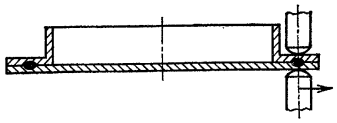


Рис. 7. Схема использования сдвига электродов при сварке для создания напряжений растяжения в тонком листе

линдрическими роликами установлены следующие закономерности и правила применения прокатки. Прокатке подвергают участки, где необходимо создать пластические деформации удлинения за счет осадки металла по толщине. Обычно это бывают околошовная зона и шов. Ролики должны иметь гладкую цилиндрическую поверхность. В случае отсутствия возможности захватить всю околошовную зону с одной стороны шва за один проход, осуществляют поочередную прокатку в последовательности, показанной цифрами на рис. 8. Существует определенное давление на ролики p_0, при котором остаточные начальные напряжения, близкие к пределу текучести $\sigma_{нач} \approx \sigma_т$, снижаются после прокатки до нуля:

$$p_0 = s\sqrt{\frac{10{,}1d\delta\sigma_т^3}{E}}, \qquad (3)$$

где s, d — ширина и диаметр рабочего пояска роликов, см; $\sigma_т$, E —соответственно предел текучести и модуль упругости прокатываемого металла, кгс/см²; δ — толщина металла в зоне прокатки, см.

Если имеются данные по оптимальным режимам прокатки конкретных сварных соединений из определенного металла, то при использовании роликов диаметром d_2 вместо роликов диаметром d_1 или изменении толщины металла от δ_1 до δ_2 давления

$$p_{02} = p_{01}\sqrt{\frac{d_2}{d_1}} \qquad (4)$$

или

$$p_{02} = p_{01}\sqrt{\frac{\delta_2}{\delta_1}}. \qquad (5)$$

Повторная прокатка при неизменном давлении вызывает пластическую деформацию, составляющую не более 10—15% деформации металла после первой прокатки.

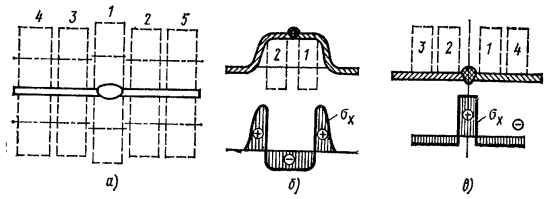


Рис. 8. Схемы прокатки роликами:

а — прокатка всей зоны пластических деформаций поочередно; *б* — в средней части зоны пластических деформаций создан перекат; *в* — шов не прокатан

2. В случае термической правки нагревом стремятся вызвать усадку таких участков конструкции, чтобы устранить нежелательные перемещения, возникшие после сварки. Например, при изгибе балок после сварки нагревают растянутую часть (рис. 9, *а*), а при правке листов, потерявших устойчивость, нагревают металл в зоне хлопуна (рис. 9, *б*). Приемы правки, температура нагрева металла,

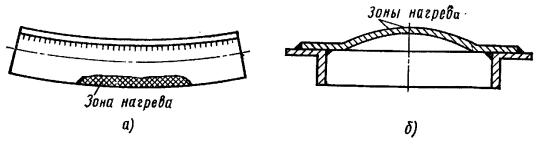


Рис. 9. Схемы расположения зон нагрева при термической правке различных конструкций:

а — балочного типа; *б* — листовых

применяемые источники тепла, форма зон нагрева подробно рассмотрены в работе [6].

3. Правка сложных элементов конструкций возможна путем их высокого отпуска или отжига в зажимных приспособлениях. В этом случае изделию придают необходимую форму, закрепляя его в приспособлении. Затем во время пребывания в печи в изделии протекают пластические деформации и почти полностью

исчезают упругие деформации. После освобождения из приспособления изделие сохраняет необходимую форму. Подробные сведения о различных методах устранения сварочных деформаций и напряжений приведены в работе [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Винокуров В. А.** Отпуск сварных конструкций для снижения напряжений. М., Машиностроение, 1973. 213 с.
2. **Кудрявцев И. В., Наумченков Н. Б.** Усталость сварных конструкций. М., Машиностроение, 1976. 270 с.
3. **Михайлов В. С.** Правка судовых сварных конструкций. Л., Судостроение, 1972. 152 с.
4. **Сагалевич В. М.** Методы устранения сварочных деформаций и напряжений. М., Машиностроение, 1974. 248 с.
5. **Стеклов О. И.** Прочность сварных конструкций в агрессивных средах. М., Машиностроение, 1976. 200 с.
6. **Труфяков В. И.** Усталость сварных соединений. Киев, Наукова думка, 1973. 216 с.

Глава 14

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ МЕТАЛЛОВ ПРИ СВАРКЕ

Технологическая прочность — способность материалов выдерживать без разрушения различного рода воздействия в процессе их технологической обработки. При сварке различают технологическую прочность металлов в процессе кристаллизации (горячие трещины) и в процессе фазовых и структурных превращений в твердом состоянии (холодные и другие виды трещин). Для оценки технологической прочности используют следующие показатели: 1) склонность сварных соединений к образованию трещин, определяемая при сварке образцов-проб лабораторного назначения, которые предусматривают интенсивное развитие одного или нескольких факторов, обусловливающих образование трещин; 2) сопротивляемость металла в различных зонах сварного соединения образованию трещин при сварке, определяемая испытанием сварных образцов внешне приложенными нагрузками и оцениваемая количественным показателем; 3) стойкость сварных соединений против образования трещин; зависит как от сопротивляемости материалов образованию трещин, так и от величины сварочных деформаций или напряжений; ее определяют путем сварки образцов технологических проб отраслевого назначения, включающих основной и сварочный материалы, тип и жесткость сварного соединения, термические и климатические условия сварки применительно к определенному виду сварных конструкций; степень (или группа) стойкости оценивается указанным выше комплексом условий сварки образца пробы, при которых еще не образуются трещины.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ В ПРОЦЕССЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ
(горячие трещины)

ОСНОВЫ ТЕОРИИ

Горячие трещины при сварке — хрупкие межкристаллические разрушения металла шва и околошовной зоны (ОШЗ), возникающие в твердожидком состоянии в процессе кристаллизации, а также при высоких температурах в твердом состоянии, на этапе преимущественного развития вязко-пластической деформации. Такие дефекты могут возникать в сварных соединениях конструкционных сплавов при всех способах сварки плавлением. Характерные виды горячих трещин представлены на рис. 1, а их топография — на рис. 2.

Для анализа причин появления горячих трещин определяют высокотемпературные деформации и сопоставляют их с деформационной способностью металла в процессе сварки.

Деформации металла при сварке определяют дифференциальным методом [19]:

$$\varepsilon = \varepsilon_н + \varepsilon_{св}, \qquad (1)$$

где ε — деформация металла при сварке; $\varepsilon_{св}$ — температурная деформация в свободном состоянии; $\varepsilon_н$ — наблюдаемая деформация при сварке.

Величину $\varepsilon_{св}$ для шва определяют по его усадке, а для металла околошовной зоны измеряют на дилятометрах. Величину $\varepsilon_н$ обычно определяют эксперимен-

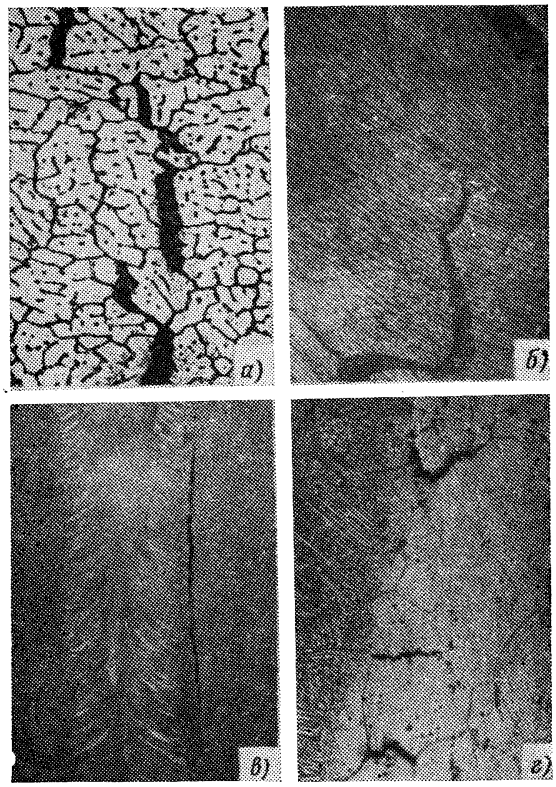


Рис. 1. Виды горячих трещин в сварных соединениях:

а — трещины в металле шва сплава АВ системы Al—Mg—Si кристаллизационного типа; 200×; *б* — трещина в металле шва сплава Al — 0,5% Cu подсолидусного типа, 100×; *в* — продольная трещина в металле ОШЗ сплава системы Al—Mg—Zn, 8×; *г* — поперечная трещина по толщине металла в ОШЗ сплава типа ХН56ВМТЮ. 70×

тально. Деформации при сварке измеряют на малых базах бесконтактным методом [26]. Менее точны контактные методы с деформометрами рычажного, емкостного, индуктивного типов [2, 27].

Изменение высокотемпературных деформаций при сварке описывается темпом $\alpha = \partial\varepsilon/\partial T \approx \operatorname{tg}\beta$ (рис. 3). Он неоднозначно зависит от жесткости свариваемых элементов, их закрепления, теплофизических свойств металла, $q/v_{св}$, $v_{св}$ и определяется в основном синхронностью изменения $\varepsilon_н$ и температуры на базе измерения. Максимум его может как опережать, так и отставать от максимума термического цикла (рис. 3, *а*, кривые $\varepsilon_{н1}$ и $\varepsilon_{н2}$). В первом случае на этапе кристаллизации развиваются деформации удлинения $\varepsilon_{н1}$, но по величине, согласно формуле (1), они меньше, чем при $\varepsilon_н = 0$ (рис. 3, *в*, кривая ε_0). Во втором случае в период кристаллизации деформация удлинения в затвердевающем металле резко увеличивается ($\varepsilon_{н2}$ на рис. 3, *б*). Такой характер развития деформаций выявлен вдоль и поперек оси шва, а также по толщине и может иметь место как при сварке незакрепленных элементов малой жесткости, так и жестких закрепленных элементов [25, 27]. Увеличение жесткости заготовок и их закреплений, снижая $\varepsilon_н$, увеличивает ε в первом случае и снижает их — во втором.

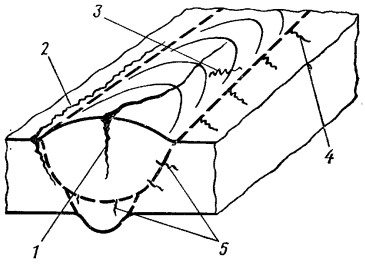


Рис. 2. Топография горячих трещин в сварных соединениях:

1—2 — продольные в шве и околошовной зоне; *3—4* — поперечные в шве и околошовной зоне; *5* — поперечные трещины по толщине свариваемого металла

Механические свойства при высоких температурах. Свойства определяют в условиях сварки, т. е. с учетом неравновесности структуры и концентрации деформации в шве. Первое условие достигается при имитации термического цикла в образцах электроконтактным или индукционным нагревом, а оба условия — непосредственно при сварке испытуемых образцов. Для испытаний такого типа созданы испытательные машины ЛТП-3-5 (МВТУ), ИМЕТ-1, Терморестор (Япония). В машине ЛТП-3-5 (рис. 4) обеспечивается свободный нагрев образца выше температуры солидуса, а на этапе охлаждения — растяжение до разрушения с большой (до 50 мм/с) или малой скоростью, регулируемой в 10^4 раз. Машина ИМЕТ-1 отличается лишь тем, что разрушение образца производится электромагнитом, т. е. с большой скоростью, при которой определяются свойства для данной температуры испытания (более важны испытания с регулируемыми скоростями, при которых проявляется склонность металла к вязкому течению, имеющему место при образовании горячих трещин). При испытаниях стержневые или пластинчатые образцы из основного металла нагревают до максимально возможных температур (не изменяющих геометрических размеров образца), а разрушают на этапе охлаждения. Образцы со сварным швом нагревают до температуры испытания, а разрушают по околошовной зоне (ОШЗ) или по шву, если его сечение уменьшено надрезом.

Однако использование образца с надрезом препятствует определению пластичности непосредственно в температурном интервале хрупкости (ТИХ), где она снижается до 0,1—0,5%. Более достоверные сведения о пластичности швов в ТИХ получают при дозировании деформации кристаллизующегося металла.

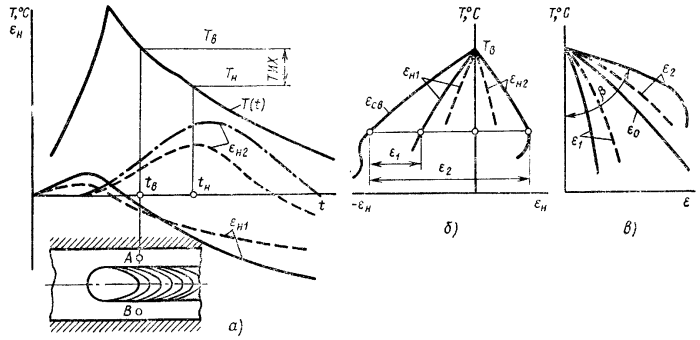


Рис. 3. Характер развития высокотемпературных деформаций в условиях сварки:

а — синхронное $\varepsilon_{н_1}$ и несинхронное $\varepsilon_{н_2}$ развитие наблюдаемых поперечных деформаций $\varepsilon_н$ (t) на базе A—B по отношению к термическому циклу сварки T (t) (при увеличении базы $\varepsilon_н$ имеет знак «+», а при сокращении — знак «—»); *б* — соотношение между температурной деформацией $\varepsilon_{св}$ в свободном состоянии и наблюдаемой деформацией $\varepsilon_н$ при синхронном ($\varepsilon_{н_1}$) и несинхронном ($\varepsilon_{н_2}$) их развитии, а также при увеличении жесткости заготовок; *в* — нарастание внутренней деформации ε_1, ε_2, ε_0 на этапе охлаждения при синхронном ε_1, несинхронном ε_2 развитии $\varepsilon_н$ и при $\varepsilon_н = 0$ (случай с увеличенной жесткостью показан штриховой линией)

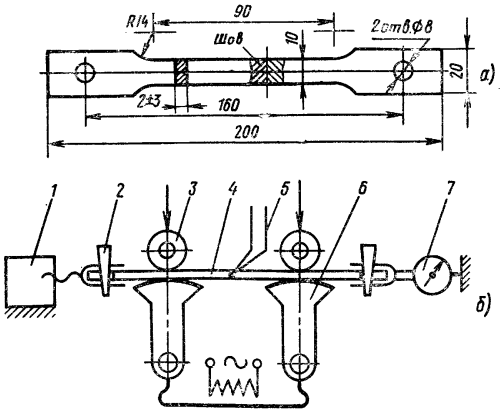


Рис. 4. Эскиз образца (*а*) и схема машины (*б*) для оценки прочности и пластичности металла в условиях сварки:

1 — многоступенчатый механизм растяжения; *2* — клиновой штифт-компенсатор; *3* — прижим; *4* — образец; *5* — термопара; *6* — токоподводящий сектор; *7* — динамометр

О пластичности судят по абсолютной величине деформации, при которой исчерпывается пластичность и возникает трещина. Эффективна методика [28], где кристаллизующийся стыковой шов растягивают поперек оси путем импульсного перемещения пластин на дозируемую величину Δ (рис. 5, *а*). Увеличивая Δ

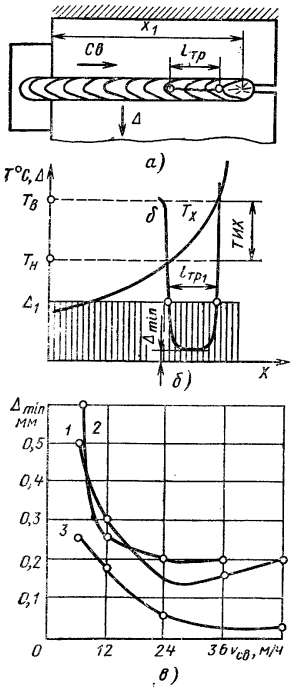
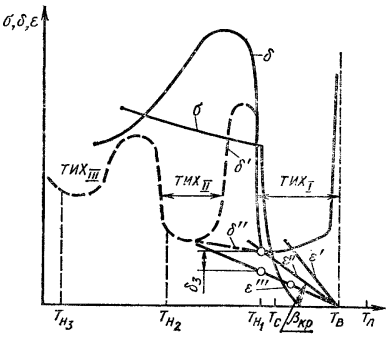


Рис. 5. Схема определения границ ТИХ, пластичности шва в ТИХ и характер ее зависимости от режима сварки:

а — схема растяжения шва в процессе сварки; *б* — определение нижней и верхней границ ТИХ по длине $l_{тр}$ трещины и распределению температуры T (x) по длине шва (δ — огибающая концов трещин, описывающая распределение пластичности по длине шва); *в* — изменение Δ_{min} при увеличении скорости сварки для сплавов; *1* — 12Х18Н9Т; *2* — 09Х16Н4Б; *3* — ХН78Т

Рис. 6. Схема нарастания деформаций ε′, ε″ и ε‴ металла шва, изменения его прочности σ и пластичности δ в процессе сварки; $T_л$ и $T_с$ — температуры ликвидус и солидус; δ, δ′ и δ″ — изменение пластичности; $T_в$, $T_{н1}$, $T_{н2}$ и $T_{нз}$ — верхняя и нижние границы $ТИХ_1$, $ТИХ_2$ и $ТИХ_3$; $δ_з$ — запас пластичности в $ТИХ_I$ при деформации ε‴; $β_{кр}$ — темп нарастания деформации при исчерпании пластичности в $ТИХ_I$ критический



при испытании серии образцов до образования трещины, находят Δ_{min}, по которой оценивают пластичность. Чтобы определить границы ТИХ, увеличивают Δ до значений $5—10\Delta_{min}$. При этом стабилизируется длина трещины, что позволяет измерить температуру у концов трещины в момент деформирования. Так находят верхнюю $T_в$ (рис. 5, *б*) и нижнюю $T_н$ границы ТИХ. Эта методика учитывает влияние состава шва и режима сварки на ТИХ и пластичность металла шва (рис. 5, *в*), но не определяет его прочность в ТИХ.

Механизм образования горячих трещин. Результаты исследований позволяют дать обобщенную схему изменения прочности и пластичности сплавов в процессе кристаллизации при сварке (рис. 6). Выше $T_в$ металл ванны находится

в жидко-твердом состоянии и имеет весьма большую пластичность в результате циркуляции жидкой фазы между кристаллами; его прочность близка к нулю. Ниже $T_в$ образуется кристаллический каркас в шве, прочность повышается, но снижается пластичность. Это связано с заклиниванием кристаллитов при деформировании, что нарушает циркуляцию жидкой фазы и приводит к хрупкому разрушению металла по тонким жидким пленкам на этапе охлаждения от $T_в$ до $T_{н1}$ ($ТИХ_I$). В $ТИХ_I$ пластичность понижается плавно или ступенчато в зависимости от темпа снижения толщины пленок в результате кристаллизации двойной, тройной и т. д. эвтектик. На стенках трещин, возникших в $ТИХ_I$, обнаруживаются следы обособленной кристаллизации пленок или рельеф кристаллизации смежных кристаллитов. Стенки окислены, если трещины выходят на поверхность шва. Они располагаются по зонам срастания кристаллитов (см. рис. 1, *а*) и называются кристаллизационными. Их образование возможно до температуры $T_{н1}$, при которой сопротивление сдвигу для пленок меньше, чем для объемов кристаллитов. Ниже $T_{н1}$ в деформировании участвует весь объем металла, что резко увеличивает его пластичность и исключает хрупкое разрушение.

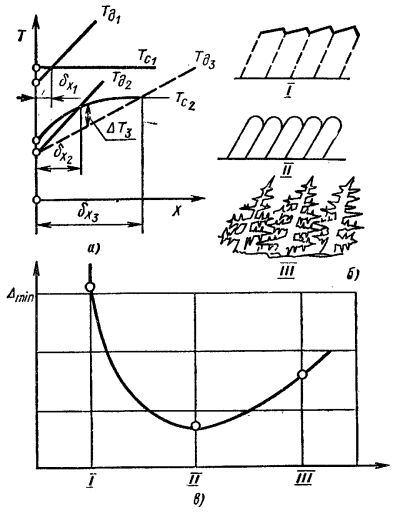


Рис. 7. Схема образования различного переохлаждения ΔT в слое δ_x жидкой фазы на межфазной поверхности (*а*), его влияние на форму фронта кристаллизации (*б*) и пластичность Δ_{min} швов в ТИХ (*в*); $T_д$ — распределение действительной температуры; T_c — распределение температуры плавления; *I* — плоский; *II* — ячеистый; *III* — дендритный фронт кристаллизации

Второй интервал хрупкости ($ТИХ_{II}$) существует в твердом состоянии для однофазных сплавов с высокой диффузионной подвижностью атомов основы. После затвердевания в них начинается процесс миграции границ зерен из зон срастания столбчатых кристаллитов в более равновесные положения, что приводит к образованию новой, обогащенной примесями сетки границ зерен, пересекающих объемы кристаллитов (см. рис. 1, *б*). Зарождение трещин на этих границах связано с продолжающейся пластической деформацией металла, приводящей к выходу дислокаций на границы зерен и образованию ступенек, раскрывающихся в результате притока вакансий в процессе межзеренного скольжения [4]. Указанные процессы приводят к снижению пластичности и появлению $ТИХ_{II}$ ниже температуры солидуса: степень ее снижения больше при малой скорости деформации. По экспериментальным данным $T_{н2} = 0{,}6 \div 0{,}7T_{пл}$; ниже этой температуры снижается диффузионная подвижность вакансий и прекращается развитие микрополостей на границах. Для низколегированных сплавов отмечено слияние $ТИХ_I$ и $ТИХ_{II}$. В ряде работ выявлен третий интервал хрупкости,

Он находится при 600—700° С и проявляется для сталей и сплавов, склонных к дисперсионному твердению, вызывающему межзеренное проскальзывание и зарождение трещин на границах в зоне ступенек, образованных залеганием фазы. В сплавах с наиболее интенсивным дисперсионным твердением (типа ХН70ВМТЮ с Ti + Al $\geqslant 3 \div 4\%$) понижение пластичности при 600—700 °С

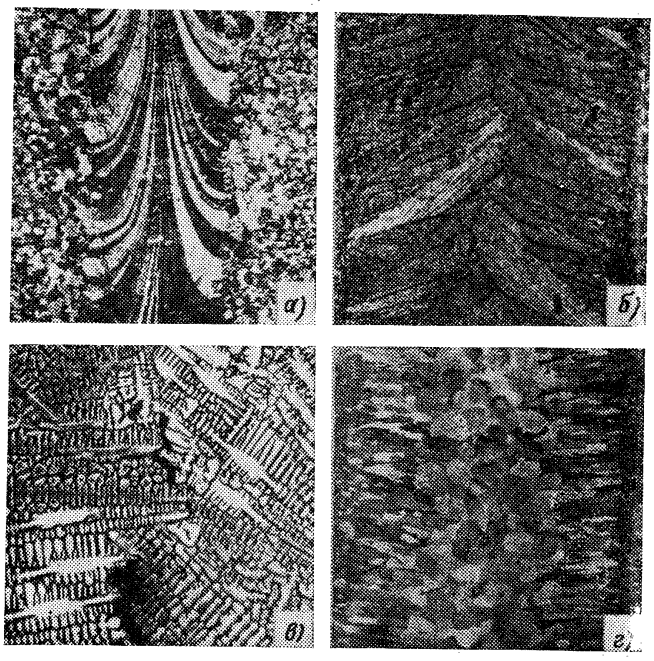


Рис. 8. Изменение макроструктуры сварных швов по мере увеличения переохлаждения жидкости у фронта кристаллизации:

а — чистый алюминий; *б* — сплав ХН78Т; *в* — сплав Св-06Х15Н35М7Г6М3Т; *г* — сплав АМг3 ($v_{св}$ = 120 м/ч)

и образование трещин в $ТИХ_{III}$ наблюдается при сварочном цикле, а в сплавах с менее интенсивным твердением — лишь при термической обработке сварных соединений на этапе нагрева, что вызывает трещины «повторного нагрева». Для сплавов с наименьшей скоростью твердения (типа 12Х18Н12Т) $ТИХ_{III}$ проявляется лишь в условиях начальной эксплуатации при 600—700 °С, вызывая так называемые локальные разрушения. $ТИХ_{II}$ и $ТИХ_{III}$ выявляются при пониженной скорости деформации, что показано в работах В. Н. Земзина и в работах [15, 18].

Зависимость свойств шва в ТИХ от его структуры. Пластичность δ в ТИХ и величина $\Delta T_{тих}$ определяют его деформационную способность $\frac{\delta}{\Delta T_{тих}}$. На деформационную способность шва влияет его структура, зависящая от химического

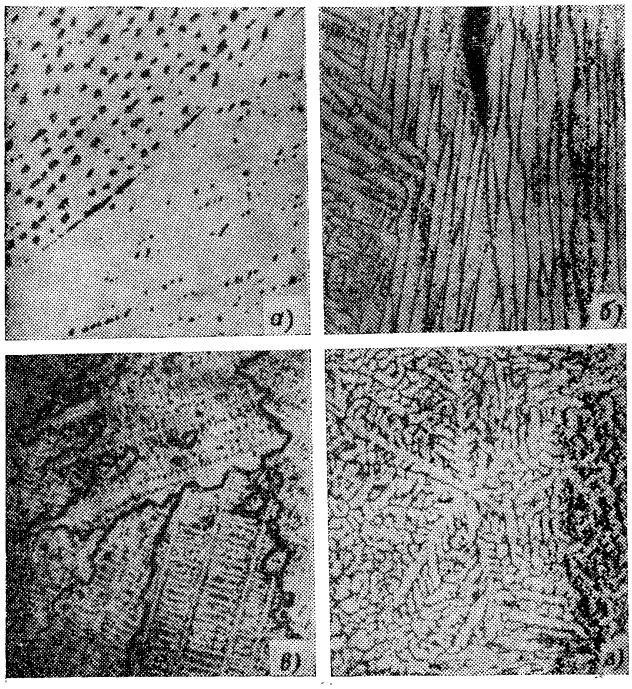


Рис. 9. Изменение микроструктуры сварных швов по мере увеличения переохлаждения жидкости у фронта кристаллизации:

а — сплав Al — 0,29% Cu; *б* — сплав ХН35БТ; *в* — сталь типа 18-8; *г* — сплав АМг3 ($v_{св}$ = 120 м/ч)

состава сплава и условий кристаллизации. Формирование структуры шва начинается на фронте кристаллизации, разделяющем твердую и жидкую фазы. Форма фронта в микромасштабе отражает теплофизические условия и тип кристаллизации, а в макромасштабе определяет схему кристаллизации шва. Различают плоский, ячеистый, ячеисто-дендритный, дендритный столбчатый или равноосный типы кристаллизации. Плоский характерен для нелегированных или неликвирующих сплавов, подверженных лишь термическому переохлаждению

с максимумом его на фронте кристаллизации (рис. 7, *а*). Его признак — отсутствие обогащенных участков в объемах и зонах срастания кристаллитов (рис. 8, *а*, 9, *а*). Пластичность таких швов высока, а ТИХ мал. При увеличении легирования или скорости сварки растет слой переохлажденной жидкой фазы на межфазной поверхности (рис. 7, *б*), что приводит к потере устойчивости плоского фронта и к его преобразованию, соответствующему кристаллизации ячеистого или дендритного типа и первичной структуры аналогичного названия. Первый из них дает швы с минимальной пластичностью и большим ТИХ. Они отличаются крупными кристаллитами с линейными зонами срастания (рис. 8, *б*), по которым располагаются протяженные участки, обогащенные более легкоплавким компонентом (рис. 9, *б*). Для ряда сплавов швы такого строения склонны к образованию как кристаллизационных, так и подсолидусных трещин. Ячеисто-дендритный

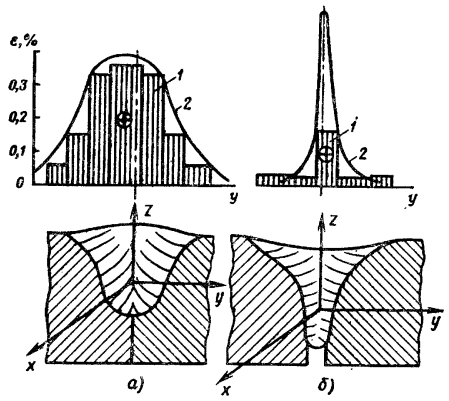


Рис. 10. Распределение относительной деформации ε при объемной (*а*) и линейной (*б*) схемах кристаллизации металла шва:

1 — экспериментальные данные, полученные на поверхности шва в ТИХ с помощью киносъемки [26]; *2* — теоретическое распределение

и особенно дендритный тип кристаллизации характеризуется большим концентрационным переохлаждением с максимумом в глубине жидкости (рис. 7, *б*). Это приводит к развитию ветвей второго порядка, что обеспечивает фрагментацию поверхности кристаллитов, препятствующей их скольжению (рис. 8 и 9, *в*). Это повышает пластичность сплавов в $ТИХ_{I}$ и предотвращает $ТИХ_{II}$.

Для швов столбчатого строения пластичность шва в ТИХ зависит и от схемы кристаллизации, т. е. от взаимной ориентации осей кристаллитов. Различают линейную, плоскую и объемную схему. Минимальная пластичность у швов с линейной схемой, когда оси кристаллитов прямолинейны и расположены в плоскости *xy* (рис. 10, *б*). Пластичность в ТИХ выше для швов, оси кристаллитов которых изогнуты в плоскости (плоская схема) и особенно в объеме ванны (объемная схема) (рис. 10, *а*). Такие швы образуются при малых скоростях сварки, если мал объем или переменна глубина сварочной ванны. Швы с мелкодендритной равноосной структурой (см. рис. 8, *г* и 9, *г*) образуются при значительном переохлаждении металла и наличии в нем активных центров кристаллизации. Пластичность таких швов наиболее высока.

Условие технологической прочности и ее критерий. При сварке плавлением кристаллизация металла совмещена с вязко-пластическим деформированием в ТИХ, что может исчерпать его деформационную способность. Графическая интерпретация этого случая — пересечение функций ε и δ, дана на рис. 6, что согласно теории, сформулированной Н. Н. Прохоровым, определяется совокуп-

ностью трех факторов: темпа α деформации металла в ТИХ, его пластичности δ и значения ТИХ. Если $\delta > \varepsilon$, то трещины не возникают и существует запас пластичности

$$\delta_з = \delta - \varepsilon, \qquad (2)$$

который изменяется в ТИХ и не может служить критерием. Подставив в выражение (2) вместо ε значение $\varepsilon_н + \varepsilon_{св}$ и разделив на ТИХ, получим

$$\frac{\delta_з}{\Delta T_{тих}} = \frac{\delta}{\Delta T_{тих}} - \frac{\varepsilon_{св}}{\Delta T_{тих}} - \frac{\varepsilon_н}{\Delta T_{тих}} = (\alpha_п - \alpha_{св}) - \alpha_н. \qquad (3)$$

Если учесть, что значение $\varepsilon_н/\Delta T_{тих}$ является темпом изменения в ТИХ $\alpha_н$, то по аналогии $\frac{\varepsilon_{св}}{\Delta T_{тих}}$ — темп усадочной деформации $\alpha_{св}$, а $\frac{\delta}{\Delta T_{тих}}$ — предельный темп деформации $\alpha_п$; его превышение приводит к образованию трещин. Значение $\alpha_п - \alpha_{св}$ зависит от ТИХ, пластичности, а также от темпа линейной усадки этого сплава и является показателем сопротивляемости образованию горячих трещин при сварке, безотносительно к форме сварного узла: $\alpha_п - \alpha_{св} = \alpha_{кр} = \operatorname{tg}\beta_{кр}$ (см. рис. 6). Для конкретного узла условие стойкости металла против горячих трещин представляется в следующем виде: $\alpha_{кр} - \alpha_н > 0$, а разность $\alpha_{кр} - \alpha_н = \alpha_з$ определяет запас технологической прочности по кинетическому параметру — темпу деформации. Методы прямого определения $\alpha_п - \alpha_{св}$ и $\alpha_з$ весьма трудоемки, что привело к созданию большого числа других, косвенных критериев и методов для их оценки.

КЛАССИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ МЕТАЛЛОВ В ПРОЦЕССЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Методы определения технологической прочности приведены в табл. 1. Группа 1-я объединяет косвенные методы. Их следует считать приближенными, так как технологическая прочность зависит не только от химического состава сплава, но и от способа выплавки, исходного размера зерна [22], степени наклепа, а особенно сильно от режима сварки [29]. Группа 2—5 объединяет прямые методы, которые предусматривают проведение испытаний с помощью проб, т. е. сварку и исследование специальных образцов в заданной последовательности и при определенных условиях. Ниже изложены сущность испытания по каждой группе прямых методов, анализ достоверности ее критериев, приведены рекомендации по выбору образцов проб и процедурные вопросы их испытания.

Оценка технологической прочности металла с помощью лабораторных технологических проб. При использовании лабораторных проб определяют большое число критериев, пять из которых даны в табл. 1. Наиболее обоснован критерий — критический размер образца пробы, приводящий к образованию трещин при его сварке. Он определяется при сварке образцов проб МВТУ — ЛТП, а также ИМЕТ и Лихайской пробы (рис. 11), в которых специально повышены деформации изгиба в плоскости образца [проба ЛТП, а также пробы № 1—3 (рис. 11) приняты странами — членами СЭВ к включению в национальные стандарты[1]. Проба ЛТП представляет собой набор образцов — пластин различной ширины ($в$), которые подлежат проплавлению или сварке однопроходным швом с полным проваром листа по направлению от края к середине, причем все образцы пробы должны свариваться в свободном, незакрепленном состоянии. Следует начинать сварку с пластины максимальной ширины (150—200 мм). Уменьшая ширину b образца в диапазоне b_{var} (рис. 11, $г$), усиливают изгиб свариваемых частей образца в его плоскости и темп деформации шва α в ТИХ согласно зависимости α (b).

[1] СЭВ. РС 3641—72. Сварка. Испытание металла шва на стойкость против образования кристаллизационных трещин при сварке сталей. Технологические пробы.

Ширина образца, при которой начинают возникать трещины, считается критической ($b_{кр}$) и является сравнительным критерием. Она пропорциональна $\alpha_п - \alpha_{св}$ при $q/v = \text{const}$. Чем больше $b_{кр}$, тем меньше сопротивляемость трещинам. Поскольку функция $\alpha = f(b)$ (см. рис. 11, $г$) имеет максимум, снижать ширину образца пробы следует лишь до этого максимума, имеющего место на образцах шириной 30—40 мм.

1. Методы оценки стойкости против образования горячих трещин (ГТ) в процессе кристаллизации при сварке

№ по пор.	Метод	Критерий	Назначение
1	Расчет степени склонности сплава к образованию ГТ по химическому составу	Эквивалент углерода $C_{экв}$, % Количество δ — Fe% для аустенитных сталей Количество равновесной эвтектики Э, %	Приближенная количественная оценка сплавов
2	Сварка образцов лабораторных технологических проб	а) Наличие ГТ при сварке проб б) Частота образования ГТ в) Относительная длина ГТ г) Критическая скорость сварки д) Критический размер образца пробы	Качественная (а), полуколичественная (б — г) и количественная (д) оценка сплавов
3	Деформирование шва в процессе его кристаллизации при сварке	Критическая скорость растяжения Критический темп растяжения Критическая деформация Критическое напряжение	Количественная оценка сплавов Количественная оценка сплавов и технологических вариантов сварки Не рекомендуется То же
4	Сварка образцов отраслевых проб	Допустимые условия сварки, при которых не образуются ГТ	Выбор технологии сварки
5	Определение запаса сопротивляемости металла ГТ при сварке конструкции	Разность между действительным и допустимым показателями сопротивляемости ГТ для данной конструкции	Оценка стойкости конструкции против ГТ при сварке в заданных условиях

В пробе ЛТП значительно регулируется темп деформации шва, в связи с чем она пригодна для оценки сварочных материалов с повышенной стойкостью против трещин. Ее используют для листов толщиной 2—15 мм, а также для труб малых диаметров [4]. Критерий этой пробы сравним лишь при неизменном термическом цикле сварки и химическом составе образца. Лихайскую пробу (см. рис. 11, $б$) применяют в США при испытании листов больших толщин. Образцы одной серии отличаются длиной прорезей, выполняемых для уменьшения жесткости образцов. В центре образца вырезают щель, в которую производят наплавку в один слой. Сопротивление металла шва образованию горячих трещин оценивают по максимальной длине a прорези, при которой в шве еще нет трещин, Сравнение

этих проб показало [20], что проба ЛТП является более чувствительной и менее трудоемкой.

Проба ИМЕТ (см. рис. 11, *в*) предназначена для испытаний тонколистового металла (1—3 мм). Горячая трещина образуется от надреза. В качестве критерия сопротивления образованию горячих трещин принята максимальная длина *а* шва до надреза, при которой в шве нет трещины.

Общие недостатки этих проб — незначительные напряжения ниже ТИХ$_I$ и непригодность для многослойной сварки. Пробы следует использовать при отсутствии машин, описанных ниже, или при невозможности их использования.

Оценка по наличию, частоте образования и длине трещин предусматривает сварку образцов жестких проб (рис. 12), выявление наличия трещин, определение их частоты в шве или ОШЗ, а также протяженности с целью оценки сварочных

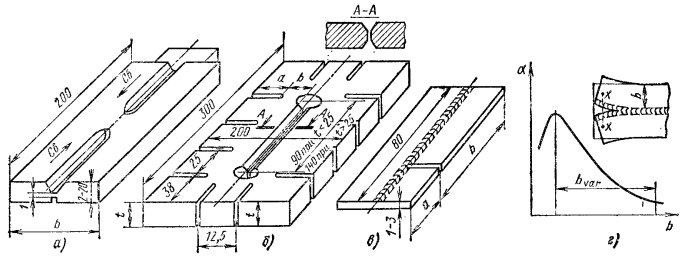


Рис. 11. Образцы проб для определения сопротивляемости сплавов образованию горячих трещин при сварке по критическому размеру пробы:

а — проба ЛТП МВТУ; *б* — Лихайская проба; *в* — проба ИМЕТ; *г* — влияние ширины образца пробы на темп деформации в ТИХ на базе *x—x*

материалов или режимов сварки. Эти критерии рекомендуются для сплавов с недостаточной технологической прочностью.

С помощью этих проб можно отбраковать как сплавы, так и технологические режимы сварки. Недостаток всех проб этой группы — большая металлоемкость и трудоемкость, а также малая чувствительность к образованию горячих трещин.

Большей чувствительностью обладают пробы, при сварке образцов которых изменяется темп деформации по длине шва. К ним относятся пробы: крестовая, NRL и др. (рис. 13). Дальнейшее совершенствование проб с переменным темпом деформации по длине шва связано с применением внешнего силового деформирования (см. машинные методы).

Оценка по критическому режиму сварки предусматривает сварку одного из образцов жестких проб (см. рис. 12) с последовательным возрастанием скорости сварки, что неизбежно приводит к образованию горячих трещин для большинства сплавов. Значение скорости, при которой для данного сплава возникают трещины, принимается за критерий $v_{кр}^{св}$. Этот критерий достоверен, если соблюдается его пропорциональность истинному критерию $\alpha_и - \alpha_{св}$, что имеет место лишь для сплавов, близких по составу. Кроме того, при этом методе оценки количественно нельзя измерить технологическую прочность на скоростях сварки меньше критических. Он пригоден лишь для определения диапазона режимов без трещин.

Оценка технологической прочности машинными методами. Для оценки используют два критерия: критическую скорость и темп растяжения шва.

Оценка по критической скорости растяжения предложена в МВТУ им. Баумана Н. Н. Прохоровым. Этот метод предусматривает сварку на неизменном ре-

жиме серии образцов в условиях растяжения с помощью машины кристаллизующегося шва. Скорость растяжения оценивают по относительному движению захватов; ее изменяют дискретно от образца к образцу с целью выявления кри-

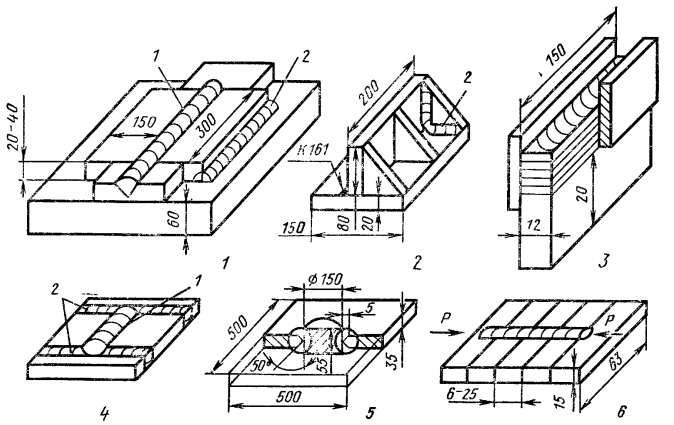


Рис. 12. Лабораторные пробы для оценки склонности швов к образованию горячих трещин при сварке; пробы:

№ 1 — жесткий стык; № 2 — жесткий тавр, № 3 — с многослойной наплавкой, № 4 — с заваркой щели, № 5 — «вварыш», № 6 — Пеллини; *1* — контрольный шов; *2* — связующий шов

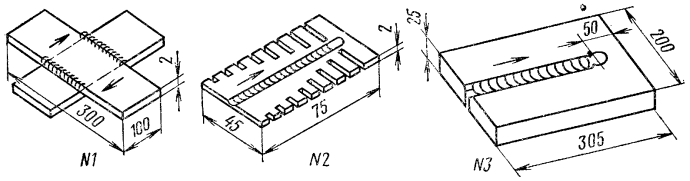


Рис. 13. Образцы проб, применяемых для оценки склонности сплавов к образованию горячих трещин по относительной длине трещин, при сварке которых обеспечивается переменный темп деформации по длине шва:

№ 1 — крестовая нахлесточная проба; № 2 — проба Холдкрофт («рыбий скелет»); № 3 — проба NRL

тического значения, при котором исчерпывается пластичность шва и периодически появляются горячие трещины:

$$v_{кр} = \frac{\Delta_{кр}}{t_н - t_в},$$

где $\Delta_{кр}$ — перемещение в ТИХ, приводящее к образованию трещины; $t_н - t_в$ — время нахождения металла шва в ТИХ,

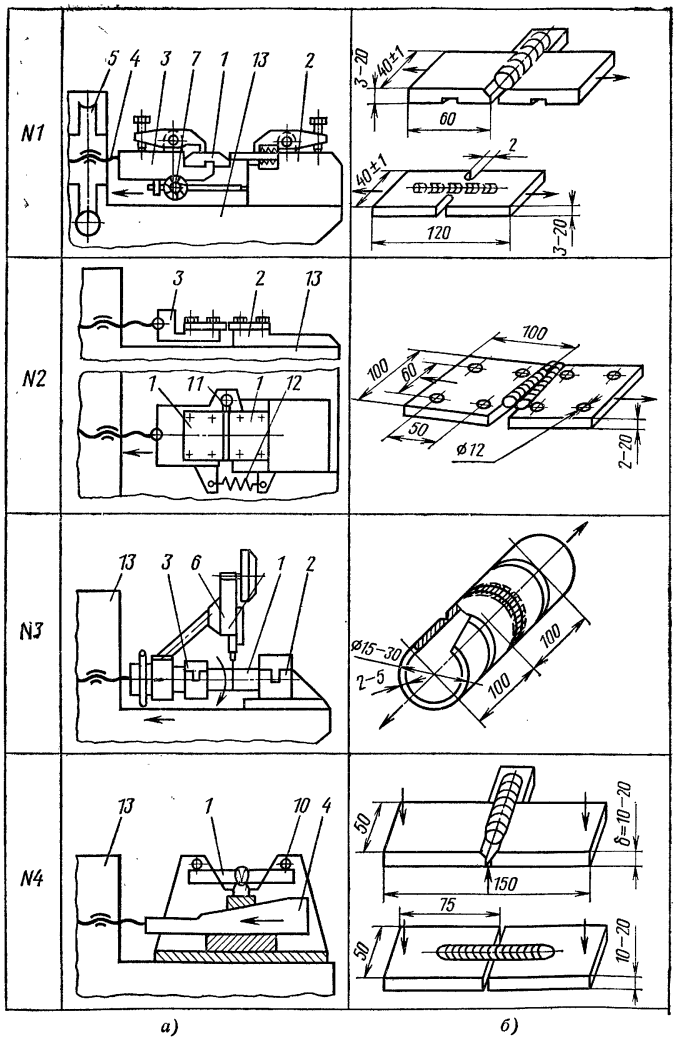
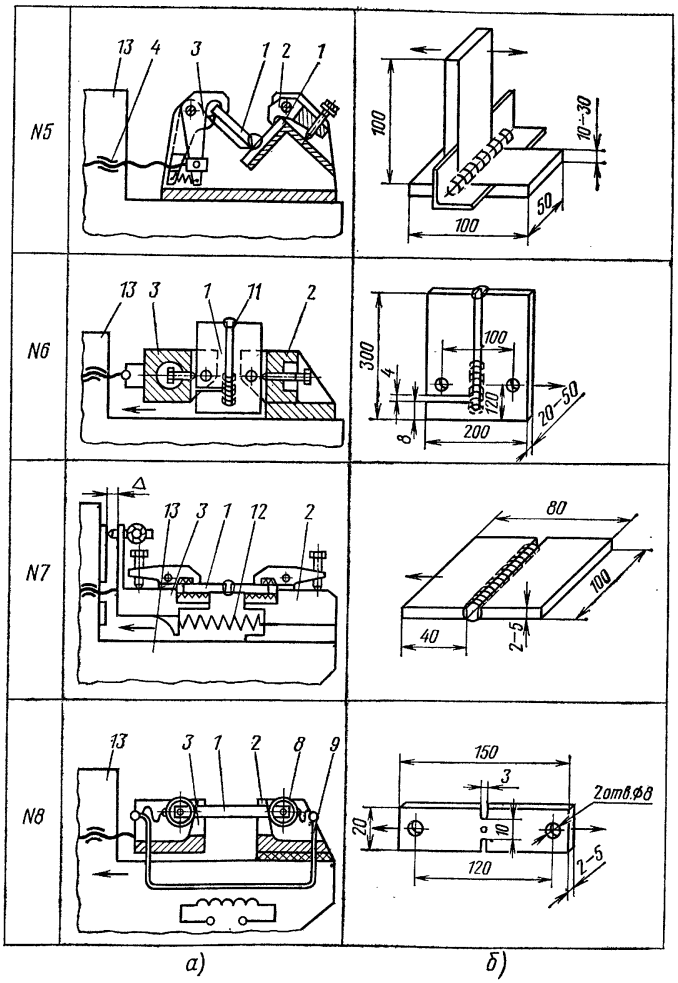


Рис. 14. Схемы сменных приспособлений к машине ЛТП1-10 (*а*) и эскизы образ

1 — свариваемые образцы; *2* и *3* — захваты; *4* — ходовой винт механизма растяжения ма
ритель перемещений; *8* — токоподводы; *9* — имитатор термического цикла сварки; *10* —



цов (*б*), используемых при испытаниях:

шины; *5* — червячное колесо механизма растяжения; *6* — сварочная головка; *7* — изме-
штифт; *11* — шарнир; *12* — пружина; *13* — корпус машины

Показатель $v_{кр}$ пригоден для сравнительной количественной оценки сплавов различного состава при неизменном термическом цикле сварки. В настоящее время этот метод широко используют в СССР и странах СЭВ. Однако значения условного показателя $v_{кр}$, полученные при сварке с разными термическими циклами (на разных режимах), не подлежат сравнению, так как при этом изменяется коэффициент пропорциональности между значениями $\alpha_{п} - \alpha_{ср}$ и $v_{1р}$. В этих условиях необходимо оценивать технологическую прочность абсолютным критерием — критическим темпом деформации, который предложен в работе [31]. В условиях нарастания перемещений Δ по линейному закону в ТИХ он равен отношению критической величины перемещения кромок свариваемых элементов в ТИХ к величине этого интервала $\Delta T_{тих}$:

$$\frac{\Delta_{кр}}{\Delta T_{тих}} = \frac{\Delta_{кр}/\Delta t_{тих}}{\Delta T_{тих}/\Delta t_{тих}} = \frac{v_{кр}}{\omega_{тих}} = \alpha_{кр}.$$

Критический темп растяжения зависит лишь от пластичности шва и ТИХ и пригоден для сравнения независимо от условий испытания при его определении. Его все шире применяют для оценки технологической прочности в различных условиях сварки. Метод оценки, где используется этот критерий, получил индекс ЛТП1. Он предусматривает проведение испытаний с помощью специальных испытательных машин, которые должны иметь силовой привод значительной жесткости, обеспечивающий постоянство скорости растяжения и ее изменение в пределах 0,5—25 мм/мин с шагом $\leq 5\%$. Силовой механизм должен совмещаться с механизмами для сварки. Для этих целей используют машины ЛТП1-4 и ЛТП1-6, созданные в МВТУ [22], ИМЕТ — ЦНИИЧМ [4] и др. Перспективно применение унифицированных машин. К ним относится машина ЛТП1-10, механизм растяжения которой (усилием 15 тс) может иметь как ступенчатую регулировку скорости растяжения, так и бесступенчатую (в случае комплектации ее тиристорным электроприводом типа ПТЗР с обратной связью). Машина имеет электромагнитную муфту для точного дозирования деформации в ТИХ, силоизмерительное устройство и восемь сменных приспособлений, позволяющих производить испытания швов, полученных дуговой и электрошлаковой сваркой по всем известным методикам и схемам нагружения.

Приспособления *1—3* (рис. 14) предназначены для растяжения шва при сварке стыковых (*1*), тавровых (*3*) или трубчатых образцов с дискретно или непрерывно уменьшающейся скоростью растяжения. Приспособления *4—6* служат для деформирования изгибом стыкового и таврового шва (как первого, так и последующих проходов), что позволяет воспроизводить при испытаниях трещины при многослойной сварке, описанные в работе [37]. Приспособление № 6 предназначено для испытания металла шва при вертикальной дуговой или электрошлаковой сварке.

Приспособление *7* позволяет определять пластичность и ТИХ металла шва путем дозирования деформации, а приспособление *8* — то же, для металла ОШЗ при имитации термического цикла электроконтактным нагревом.

Для проведения подобных испытаний при лучевых методах сварки разработана малогабаритная машина ЛТП1-11 (рис. 15), обеспечивающая изгиб при сварке образцов *1* повышенных толщин (> 5 мм) и растяжение сварных образцов *1′* меньших толщин по двум схемам: вдоль и поперек оси шва.

Особенности методики оценки по $\alpha_{кр}$ состоят в правильном назначении момента начала растяжения образца и его длительности, а также в учете формоизменения образца при изменении режимов сварки. Начало растяжения образца, как правило, должно совпадать с моментом перемещения оси электрода с технологической планки на испытуемый образец, а окончание — с моментом охлаждения металла в испытуемой зоне шва (в начале его) до нижней границы ТИХ. Более раннее включение машины или выключение с опозданием не влияет на $\alpha_{кр}$. Для определения $\alpha_{кр}$ испытывают 15—20 образцов при одном режиме сварки, увеличивая скорость растяжения. Критической считается скорость растяжения

$v_{кр}$, периодически приводящая к образованию трещин, а ее уменьшение на 5% не вызывает появления трещин при испытании нескольких образцов. Скорость охлаждения металла в ТИХ $\omega_{тих}$ определяют на тех же образцах в зоне испытуемой длины шва. Эта методика позволяет оценить как склонность шва к зарождению трещин, так и к их развитию; для этого при испытаниях необходимо фиксировать площадь трещин [7].

Оценка сопротивляемости металла ОШЗ образованию горячих трещин также может быть выполнена машинными методами. Для воспроизведения продольных трещин в ОШЗ следует использовать образцы толщиной 2—3 мм, свариваемые встык при полном проплавлении кромок образцов и с образованием усиления шва, причем растяжение следует начинать после выхода дуги в центр образца.

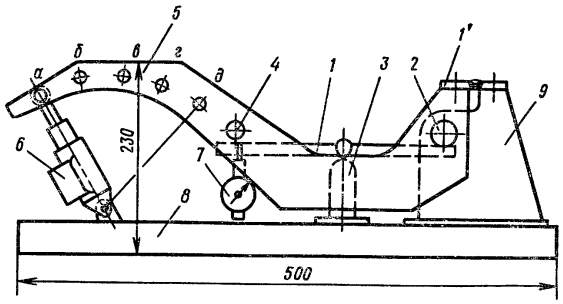


Рис. 15. Схема переносной малогабаритной машины ЛТП1-11 для оценки технологической прочности при лучевых способах сварки:

1 — образец, подвергаемый изгибу; *1′* — образец, подвергаемый растяжению; *2* — упор; *3* — опора; *4* — нажимной вал; *5* — рычаг с варьируемой длиной плеча; *6* — электропривод с плунжером; *7* — измеритель перемещений; *8* — рама; *9* — стойка

Поперечные трещины в ОШЗ, аналогичные представленным на рис. 1, *г*, воспроизводятся при сварке целых образцов, повышенной толщины, в которых растяжение происходит вдоль шва в результате изгиба образца.

При ускоренной оценке сплавов применяют имитацию термического цикла на образцах из основного металла и их растяжение с различными скоростями на этапе охлаждения. Достоверность результатов зависит главным образом от правильного выбора максимальной температуры цикла (T_{max}). В методике ЛТП-3 МВТУ предусмотрено в этом случае в качестве критерия использовать минимальное значение $v_{кр}$ для металла в ОШЗ, которое находят при варьировании T_{max} (рис. 16, *а*).

Менее точна оценка, по которой сопротивляемость образованию горячих трещин в ОШЗ оценивается качественно наклоном зависимости $v_{кр} = f(\theta)$, где $\theta = \frac{T_{max}}{T_{в}}$. Приведенные на рис. 16, *б* результаты позволили таким образом разделить испытанные сплавы на склонные и несклонные к горячим трещинам в ОШЗ.

Этот показатель следует рекомендовать для сплавов, весьма склонных к трещинам в ОШЗ, когда другие критерии ($v_{кр}$ и др.) малы или неразличимы.

Необходимо отличать метод, рассмотренный выше, от других, при которых швы также деформируют машинами, но при этом за критерий оценки приняты

другие, менее обоснованные параметры испытания: критическая деформация, критическое напряжение. К ним относятся испытания по Varestreint и Blanchet, критика которых дана в работах [4 и 22].

Оценку стойкости сварных соединений против горячих трещин на отраслевых пробах производят с целью выбора материалов или технологии сварки, обеспечивающих отсутствие трещин при сварке конструкции. К этой категории относятся пробы типа «вварыш» и ЦНИИТС (проба ЦНИИТС описана на стр. 423). Пробу «вварыш» из толстолистового металла (см. рис. 12) широко применяют в судостроении. Основу пробы составляет пластина с отверстием в центре, в которое вваривают стержень диаметром 150 мм и высотой в три толщины. Сварку ведут до полного заполнения разделки с последующей разрезкой на шлифы по

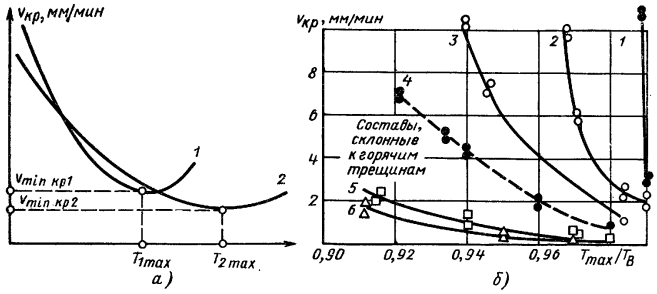


Рис. 16. Влияние максимальной температуры T_{max} имитированного цикла сварки на изменение $v_{кр}$:

а — схема; *б* — результаты влияния T_{max} на $v_{кр}$ ряда высоколегированных сплавов; *1* — 08Х16Н9М2; *2* — 12Х18Н12Т; *3* — 0ХН35ВТ; *4* — ХН35ВМТР; *5* — 20Х25Н20С2; *6* — Х16Н20Р

двум плоскостям. Появление трещин служит браковочным признаком для исследуемого технологического варианта. Тонколистовые пробы «вварыш» широко применяют в качестве отраслевых для сталей, сплавов Ni, Al, Mg с целью определения возможного диапазона режимов сварки и оценки качества присадочных материалов в отношении их стойкости против горячих трещин, трещин при термической обработке и т. д.

Запас стойкости против горячих трещин при сварке конструкций определяют с помощью отраслевых проб, сварку образцов которых выполняют партией электродов, отличающихся содержанием примесей, количеством δ-феррита, легирующих элементов и поэтому имеющих различные значения $\alpha_{кр}$. Такая партия электродов называется эталонным рядом. Сваривая отраслевую пробу или узел конструкции электродами эталонного ряда, по факту появления трещин находят электрод с минимальным показателем $\alpha_{кр}$, обеспечивающим отсутствие трещин. Величину этого показателя считают допустимой для электродов, предназначенных для сварки конструкций данного типа.

Сравнивая показатель $\alpha_{кр}$ электрода, выбранного для сварки, с допустимым, устанавливают уровень запаса технологической прочности образцов отраслевых проб, а следовательно, и соответствующих конструкций при сварке в заданных условиях.

При сварке магистральных трубопроводов, по данным работы [16], для корневых швов допустимый показатель электродов составляет 2,5 мм/мин. Электроды

с меньшим показателем приводят к образованию трещин в шве, а с бо́льшим — к отсутствию трещин и наличию соответствующего запаса технологической прочности.

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Для предотвращения горячих трещин или увеличения запаса технологической прочности при сварке необходимо: 1) снизить в ТИХ темп деформации металла при сварке; 2) применить сварочные материалы, режимы и условия сварки, обеспечивающие сварному соединению кроме эксплуатационных свойств и высокие показатели технологической прочности.

Снижению деформаций в ТИХ способствует закрепление нежестких заготовок в кондукторах, увеличение их геометрической жесткости, введение или усиление связей (прихваточных швов, технологических планок, косынок, ребер жесткости), а также сварка концевых участков прямолинейных швов от центра к краю. Эти меры предотвращают деформации изгиба различного вида при сварке. Подогрев незакрепленных заготовок понижает их жесткость, усиливает изгиб и поэтому является нежелательным.

При сварке жестких заготовок снижения деформаций в ТИХ достигают наоборот устранением закреплений, увеличением сечения швов, сборкой с натягом, приводящим к сжатию свариваемых кромок. Подогрев до 300—400 °С в этом случае аналогичен снижению закреплений и снижает темп деформации в ТИХ, но его эффективность становится незаметной при дуговой сварке толстолистового металла (30—40 мм и более).

Темп деформации металла в ТИХ может быть снижен также путем более равномерного распределения деформаций по шву при высоких температурах, что достигают переходом к режимам сварки, обеспечивающим очертания хвостовой части ванны эллипсоидного или параболлоидного типа. Ванны такой формы образуются, как правило, при малых скоростях сварки (см. рис. 10, *а*).

Малые скорости сварки (15—20 м/ч) обеспечивают также снижение темпа деформаций в ТИХ и для металла в ОШЗ, что имеет особое значение для устранения трещин при электронно-лучевой и дуговой сварке жаропрочных дисперсионно-твердеющих сплавов [13, 25]. Одновременного снижения деформаций в шве и ОШЗ достигают при использовании источников с повышенной проплавляющей способностью, позволяющей получить при сварке с малой скоростью сварочные ванны минимальной длины.

При сварке жестких заготовок на высокопроизводительных режимах ограничены возможности по регулированию темпа деформации. Более результативно повышение сопротивляемости металла шва и ОШЗ образованию трещин путем управления типом или схемой кристаллизации.

Тип кристаллизации является важной характеристикой процесса; он определяет размеры и форму элементов первичной структуры, а также морфологию неравновесных легкоплавких фаз. Тип кристаллизации отражает совокупное влияние химического состава сплава и теплофизических условий кристаллизации при сварке, обусловливающих уровень термоконцентрационного переохлаждения жидкой фазы у межфазной поверхности. По мере его возрастания плоский тип кристаллизации переходит в ячеистый, а затем в дендритный. Сопротивляемость металла против горячих трещин минимальна при ячеистом и возрастает по мере перехода к плоскому и дендритному типу кристаллизации. Переход к плоскому типу кристаллизации возможен лишь при сварке металлов повышенной чистоты при больших значениях температурного градиента, препятствующих разделительной диффузии. Для перехода к дендритному типу кристаллизации необходимо усилить термоконцентрационное переохлаждение у межфазной поверхности, достигаемое увеличением скорости сварки и снижением градиента температуры за счет снижения температуры металла в сварочной ванне.

Для тонколистового металла переход к кристаллизации дендритного типа и повышение сопротивляемости горячим трещинам достигается при импульсной сварке и сварке с электромагнитным перемешиванием (сварке с ЭМВ), обеспечивающих прерывистый рост твердой фазы. Сварка с ЭМВ эффективна и для толстолистового металла (рис. 17). Но наиболее эффективный путь перехода к кристаллизации дендритного типа для толстолистового металла состоит в введении присадочного металла в виде гранул или проволоки в затвердевающую зону сварочной ванны по схемам, приведенным на рис. 18. При этом сопротивляемость образованию горячих трещин возрастает в 1,8—2 раза, а при достижении дендритной равновесной структуры в центре шва — еще значительнее [17, 23]. Наиболее перспективным и надежным способом получения такой первичной структуры является введение присадок специального состава в ту зону хвостовой части ванны, где исключается перемешивание всего объема металла.

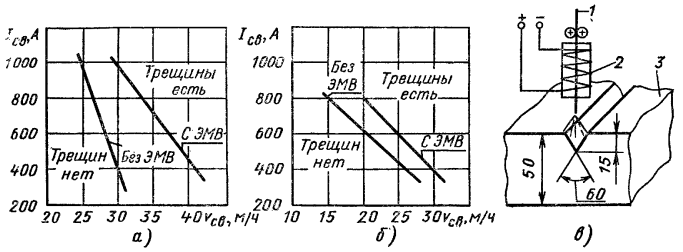


Рис. 17. Влияние скорости сварки, силы тока и электромагнитного поля (ЭМВ) на появление горячих трещин при сварке под флюсом образцов жесткой пробы № 1 (см. рис. 12) из хромоникельмолибденовой стали:

а — при сварке проволокой Св-0810ГСМТ; *б* — при сварке проволокой Св-09Х16Н25М6АФ; *в* — схема сварки жесткой пробы: *1* — электрод; *2* — соленоид; *3* — проба

В результате получают швы переменного состава по сечению, исключающие образование горячих трещин не только в шве, но и в ОШЗ [30]. Последний эффект связан с уменьшением теплового воздействия в ТИХ на ОШЗ со стороны металла шва, теплосодержание которого снижается при введении значительного количества присадки, достигающего 100% по отношению к количеству расходуемого электрода.

Кристаллизация шва необходимого типа при ручной дуговой сварке достигается его легированием, обеспечивающим получение шва с двухфазной структурой с заданным количеством второй фазы (α-фазы, эвтектики и др.). В результате двухфазной кристаллизации происходит резкое измельчение кристаллитов шва и нарушается их столбчатое строение, что существенно повышает сопротивляемость образованию горячих трещин кристаллизационного и подсолидусного типа; этот прием широко распространен для сплавов алюминия, магния, аустенитно-ферритных сталей [4, 21].

Для однофазных сплавов, в швах которых по условиям эксплуатации недопустима вторая фаза, в качестве легирующих элементов используют Mo, W, Mn, способствующие переходу от ячеистого к дендритному типу кристаллизации и обеспечивающие стабильность элементов первичной структуры путем повышения энергии активации процессов диффузии; последнее приводит к фрагментации поверхности зерен и препятствует развитию межзеренного скольжения. В этих условиях измельчения столбчатых кристаллитов достигают добавками Ti, Zr, Nb, а добавками церия и других РЗМ — связывания серы в скоагулированные тугоплавкие включения, не смачивающие поверхности кристаллитов.

Для таких сплавов весьма существенный эффект дает рафинирование сплавов путем электрошлакового, плазменно-дугового или вакуумно-лучевого переплава.

Управление схемой кристаллизации также существенно изменяет уровень сопротивляемости трещинам для швов столбчатого строения. Наиболее неблагоприятна линейная схема кристаллизации, при которой оси кристаллитов располагаются в одной плоскости (*xy*) и прямолинейны (см. рис. 10, *б*). Устранение такой схемы и переход к объемной достигается уменьшением зазора, усилением теплоотвода со стороны корня шва, уменьшением силы тока и особенно скорости сварки до 10—15 м/ч, а также введением дополнительного металла, снижающего перегрев сварочной ванны. Для получения объемной схемы кристаллизации

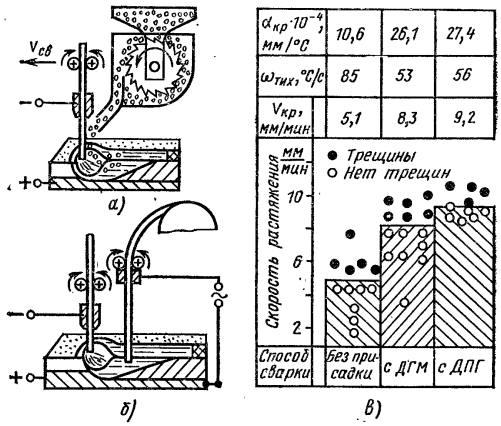


Рис. 18. Схема сварки с введением в сварочную ванну дополнительного гранулированного металла ДГМ (*а*) и дополнительной горячей проволоки ДПГ (*б*) и степень повышения показателя $\alpha_{кр}$ (*в*) технологической прочности сварных швов стали 16Г2АФ толщиной 20 мм при сварке проволокой Св-10НМА со скоростью 25 м/ч на токе 700 А ДГМ и ДПГ состава Св-10НМА

наиболее эффективно также применение сварочных источников с высокой проплавляющей способностью, позволяющих при малой скорости сварки получить малую погонную энергию, наименьшую длину и ширину сварочной ванны. Признаком наличия объемной схемы кристаллизации служит эллипсоидная или параболлоидная форма изотермы на поверхности шва и в его сечении (см. рис. 10, *а*).

Повышение сопротивляемости металла образованию горячих трещин в ОШЗ включает мероприятия по измельчению зерна при изменении режима прокатки и термической обработки, наклепу кромок, рафинированию металла, а также по снижению теплосодержания сварочной ванны, температуры плавления шва и нижней границы ТИХ по отношению к основному металлу [22]. Для дисперсионно-твердеющих сплавов никеля главное значение имеет снижение скорости дисперсионного твердения, что достигается легированием сплавов Al и Nb вместо ранее используемого легирования Ti + Al [5], а также перестариванием металла в исходном состоянии.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ В ПРОЦЕССЕ ФАЗОВЫХ И СТРУКТУРНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ (холодные трещины)

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ХОЛОДНЫХ ТРЕЩИН

Холодные трещины — локальное межкристаллическое разрушение металла сварных соединений. Формальными признаками холодных трещин, отличающими их от горячих, являются факт обнаружения трещин при визуальном наблюдении, как правило, после полного охлаждения сварного соединения и блестящий излом без следов высокотемпературного окисления. Этим признакам удовлетворяют трещины шести разновидностей (табл. 2, рис. 19).

2. Разновидности холодных трещин

Трещины	Основные процессы или факторы, обусловливающие трещины
«Холодные» в сварных соединениях перлитных и мартенситных сталей (а также «отколы», «подваликовые»)	Мартенситное превращение аустенита в околошовной зоне или сварном шве
«Отрывы» по зоне сплавления низколегированных и легированных сталей при сварке аустенитными сварочными материалами	Мартенситное превращение аустенита в зоне перемешивания основного и наплавленного металлов
«Ламелярные» в околошовной зоне перлитно-ферритных сталей	Скопление неметаллических включений в элементах полосчатой микроструктуры стали
«Холодные» в околошовной зоне и шве легированных бейнитных сталей: продольные в однослойных и в районе последних слоев многослойных соединений (а также «отколы») поперечные в многослойных соединениях (а также «частокол»)	Превращение аустенита в области нижнего бейнита, насыщение водородом Сегрегация примесей на границах аустенитных зерен при повторном нагреве до 400—700 °С в процессе наложения последующих слоев, насыщение водородом
«Холодные» в околошовной зоне и шве мартенситно-стареющих сталей в соединениях: однослойных многослойных	Насыщение водородом Сегрегация примесей и фазовые выделения на границах аустенитных зерен при повторном нагреве до 500—700 °С после перерыва в сварке
«Холодные» в сварных соединениях высокохромистых ферритных сталей	Выделение карбонитридных фаз по границам зерен при охлаждении после сварки

Приведенная классификация холодных трещин несомненно условна, так как природа ряда их разновидностей изучена еще недостаточно.

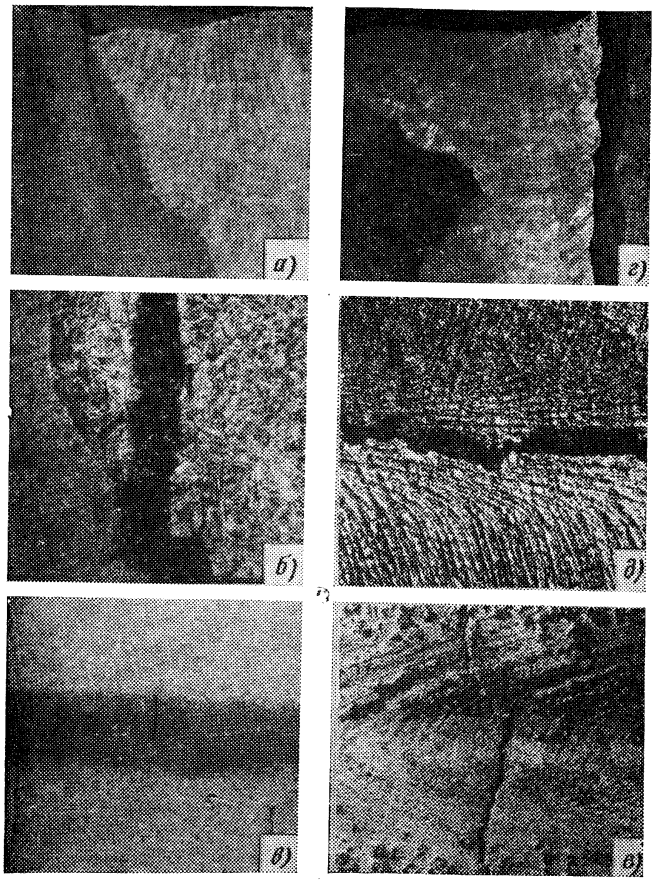


Рис. 19. Холодные трещины в сварных соединениях:

а — «откол» в стали 18Х2Н3МДА; *б* — «ламелярная» в стали 14Х2ГМР; *в* — «частокол» в стали 18Х2Н3МДА; *г* — «отрыв» по линии сплавления стали 12Х4МДА, сваренной аустенитным швом; *д* — продольная в шве стали 42Х2ГСНМА (проплавление); *е* — поперечная в шве стали 20Х13 (проплавление)

Наиболее изучены холодные трещины двух первых разновидностей типа «откола» и «отрыва» и установлен ряд закономерностей их образования. Трещины образуются непосредственно после окончания сварки при охлаждении ниже 200—100 °С, а также в послесварочный период в течение нескольких суток. Трещины могут возникнуть в том случае, если металл в одной из зон сварного соединения претерпевает полную или частичную закалку. Ориентировочно минимальная доля мартенсита в структуре перлитных сталей, при которой возможно образование холодных трещин, составляет 25—30%.

Исследование шлифов, свободной поверхности сварных соединений и излома трещин показывает, что холодные трещины состоят из очага разрушения и участка развития трещины (рис. 20). Разрушение на участке очага осуществляется по границам действительного аустенитного зерна и наблюдается как практически хрупкое. Участок развития часто имеет смешанный характер, т. е. трещина проходит как по границам, так и по телу зерен и сопровождается заметной пластической деформацией окружающего металла. Сопоставление границ действительных аустенитных зерен в конечной структуре с оплавленными границами в околошовной зоне и зонами срастания кристаллитов в шве показывает, что они расположены произвольно относительно друг друга (рис. 21) [32]. Возникновение очагов трещин на границах аустенитных зерен объясняется тем, что они представляют поверхности раздела с высокой концентрацией дефектов кристаллической решетки, на которых в результате процесса сегрегации скапливаются атомы примесей, в том числе углерода и водорода. Оплавленные границы и зоны срастания кристаллитов в шве характеризуются повышенной ликвацией легирующих элементов и примесей, имеющих малый или средний коэффициент распределения и малый коэффициент диффузии в стальных сплавах. При этом углерод вследствие большого коэффициента диффузии перераспределяется в процессе охлаждения и не дает ликвации по оплавленным границам и зонам срастания в конечной структуре закаленной стали [11, 39].

Основными факторами, обусловливающими возникновение трещин, являются: 1) структурное состояние металла сварного соединения, характеризуемое наличием составляющих мартенситного и бейнитного типа; 2) уровень растягивающих сварочных напряжений первого рода, определяемый жесткостью сварной конструкции, режимом сварки, типом металла шва и другими причинами; 3) содержание и распределение водорода в металле сварного соединения после сварки, зависящие от концентрации водорода в атмосфере дуги, исходного содержания водорода в основном металле и других условий.

Холодные трещины являются одним из случаев замедленного разрушения «свежезакаленной» стали [21, 22]. Закономерности замедленного разрушения следующие: 1) разрушение возникает после некоторого инкубационного периода при деформировании с малыми скоростями ($\dot{\varepsilon} \leqslant 10^{-4}$ 1/с) или нагружении постоянной нагрузкой; при этом сопротивляемость разрушению много меньше кратковременной прочности и зависит от времени действия нагрузки; 2) сопротивляемость разрушению постепенно возрастает с увеличением времени после термического воздействия (от 1 суток до 1 года) в результате так называемого процесса «отдыха»; 3) склонность к разрушению полностью подавляется при охлаждении ниже —70 °С, восстанавливаясь при последующем нагреве до 20 °С, заметно ослабляется при нагреве до 100—150 °С и полностью исчезает при нагреве до 200—300 °С.

Замедленное разрушение свежезакаленной стали связано с микропластическим течением по границам зерен. Последнее объясняется наличием в структуре мартенсита такой стали высокой плотности незакрепленных, способных к легкому скольжению краевых дислокаций. Микропластическая деформация проявляется преимущественно в виде сдвигов по границам и в приграничных зонах аустенитных зерен [9]. Эти данные позволяют предположить, что очаги холодных трещин образуются в соответствии со схемой Зинера, только относительное смещение соседних зерен обусловлено не вязким течением [21, 24], а микропластической деформацией в приграничных зонах и по границам зерен.

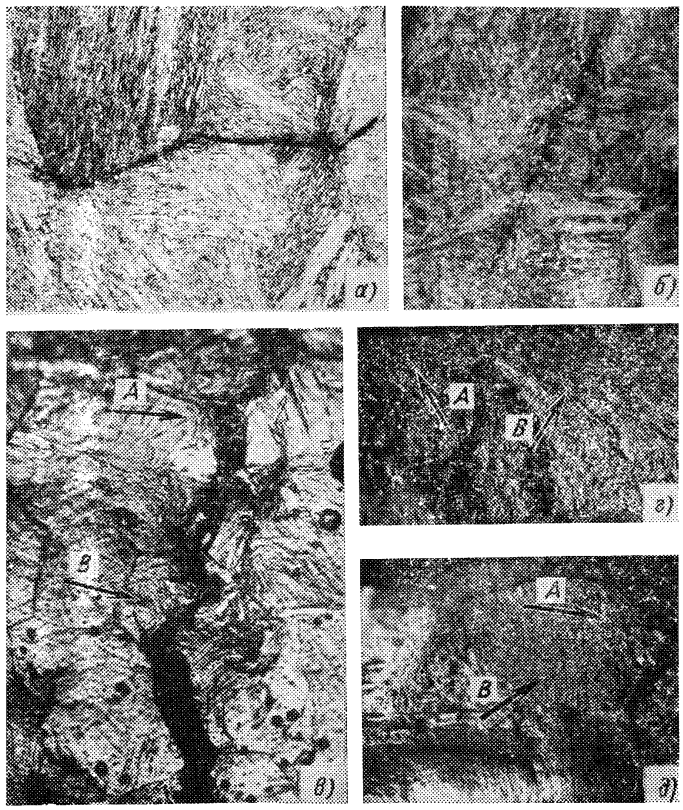


Рис. 20. Межкристаллический характер очага холодных трещин и смешанный характер их развития:

а, б — очаги трещин «частокол» и «ламелярной»; *в* — очаг *А* и участок *В* развития поперечной трещины в околошовной зоне (свободная поверхность); *г* и *д* — то же, на изломе трещин «откол» и «частокол»

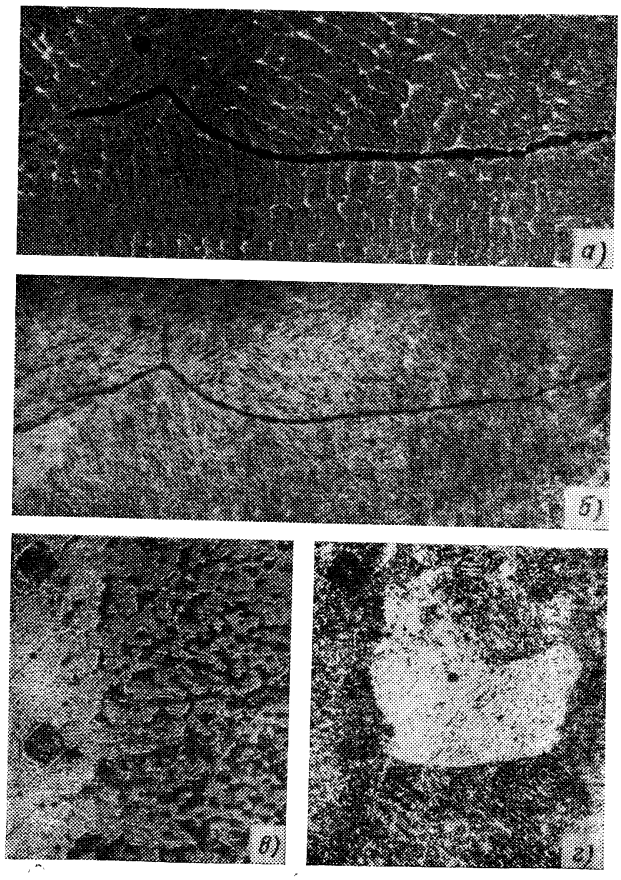


Рис. 21. Сопоставление зон срастания кристаллитов в шве (*а*) и оплавленных зерен в околошовной зоне (*в*) с границами действительных аустенитных зерен (*б* и *г*)

Торможение процесса замедленного разрушения и образования трещин при отрицательных температурах связано с термоактивированным характером микропластической деформации и объясняется снижением ее скорости более, чем в 10^{10} раз по сравнению с деформацией при 20 °С. Повышение сопротивляемости холодным трещинам в процессе выдержки после сварки в течение нескольких суток при 20° С и нескольких часов при 100—200 °С связано с сегрегацией углерода на дислокациях и их закреплением, скорость которой определяется составом стали и температурой. Подтверждением этому является совпадение кинетики развития обоих процессов во времени. Другие послезакалочные процессы в мартенсите (разупорядочение твердого раствора с образованием кубического мартенсита, распад с выделением промежуточных карбидов и т. д.) не получают развития до закрепления дислокаций атомами углерода [9].

Очаги трещин могут иметь субмикроскопические (несколько десятков дислокаций) или микроскопические (диаметр зерна) размеры. Образование и развитие очагов в макротрещины подчиняются различным закономерностям. Предполагается, что процесс образования очагов представляет собой упругий разрыв атомных связей при достижении локальными напряжениями теоретической прочности и контролируется в основном поверхностной энергией, имеющей порядок 10^2—10^4 эрг/см^2. Развитие микротрещины связано с возникновением около ее вершины области пластической деформации и контролируется в основном энергией пластического течения, которая может быть оценена приведенной величиной — некоторой эффективной поверхностной энергией порядка 10^5—10^6 эрг/см^2. Таким образом, для развития микротрещин требуются более высокие напряжения, чем для их образования. Поэтому в некоторых случаях они могут существовать в сварных соединениях, не влияя на их работоспособность при эксплуатационных нагрузках, меньших критических. Субмикротрещины, видимо, вообще могут «зарастать» в результате упорядочения дефектной структуры металла в процессе «отдыха». При нагрузках выше критических микротрещины получают развитие, что приводит к разрушению конструкций.

Влияние водорода на склонность сталей к образованию холодных трещин при сварке согласуется с явлением обратимой водородной хрупкости [9]. Обратимая водородная хрупкость обусловлена атомарным (или ионообразным) водородом, образующим пересыщенный твердый раствор в местах концентрации трехосных растягивающих напряжений, в первую очередь в зонах вокруг острия субмикротрещин. При повышении содержания водорода снижается критический размер субмикротрещин и соответственно уменьшается сопротивляемость их развитию в микротрещины. Водород наиболее заметно снижает сопротивляемость стали трещинам [9, 22] в случае образования в сварных соединениях смешанной перлитно-мартенситной, бейнитной или структуры низкоуглеродистого мартенсита (в том числе низкотемпературного у мартенситно-стареющих сталей). При структуре среднеуглеродистого мартенсита влияние водорода незначительно или практически отсутствует. Это отражает одну из особенностей обратимой водородной хрупкости, заключающуюся в том, что она проявляется, если другие факторы (температура, структурные превращения и т. п.) не создают в металле предельной степени хрупкости или вообще его не охрупчивают.

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ СТАЛЕЙ ОБРАЗОВАНИЮ ХОЛОДНЫХ ТРЕЩИН

Применяемые в настоящее время методы приведены в табл. 3. Один из косвенных методов — расчетное определение эквивалента углерода $C_{экв}$ (табл. 3, А.1.1). Различные исследователи предложили более десятка выражений для $C_{экв}$, существенно отличающихся коэффициентами при легирующих элементах. В практике часто применяется выражение [22]

$$C_{экв} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{10} + \frac{Cu}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14}.$$

3. Методы оценки сопротивляемости сталей образованию холодных трещин при сварке

Сущность и назначение метода	Вид критерия и его использование	Характер критерия
	А. Косвенные	
1. Расчет склонности стали к образованию трещин по химическому составу	1. Эквивалент углерода $C_{экв}$. Сопоставление с критическим значением	Количественный *1
2. Расчет склонности сварного соединения к образованию трещин по химическому составу и жесткости соединения	1. Критерий трещинообразования P_w. Сопоставление с критическим значением	То же
	Б. Прямые	
1. Определение склонности стали к трещинам путем сварки лабораторных технологических проб	1. Наличие или отсутствие трещин	Качественный
	2. Относительная длина трещин	Полуколичественный *2
	3. Критическая скорость охлаждения	То же
	4. Критическая начальная температура	»
	5. Критическое число усадочных валиков	Полуколичественный *2
	6. Критическая геометрическая жесткость образца пробы	Количественный
	Критерии 1—6 используются для сравнения материалов между собой или с эталонным	
2. Определение сопротивляемости стали трещинам путем испытаний сварных образцов на замедленное разрушение	1. Минимальное напряжение, при котором образуются трещины	Количественный
	Для сравнения материалов между собой или с эталонным, для сопоставления с допустимым показателем	
3. Определение сопротивляемости замедленному разрушению путем испытаний образцов основного металла с имитацией сварочного термодеформационного цикла	1. Минимальное разрушающее напряжение	Количественный
	Для сравнения материалов между собой и с эталонным	
4. Определение группы стойкости сварных соединений против трещин путем сварки специализированных (отраслевых) технологических проб	1. Комплекс условий сварки, при которых не образуется трещин.	Количественный
	Для выбора материалов и технологии сварки конструкций	
5. Определение запаса стойкости против трещин путем сопоставления действительного показателя сопротивляемости стали трещинам с допустимым для конструкций данной категории	1. Относительное превышение действительного показателя сопротивляемости над допустимым.	Количественный
	Для выбора материалов и технологии сварки сварных конструкций	

*1 Количественные критерии имеют числовые выражения; связаны с изменением одного из факторов, обусловливающих трещины, и однозначно оценивают сопротивляемость трещинам.

*2 Полуколичественные критерии связаны с изменением нескольких активных факторов, но являются числовым выражением одного из них.

Стали с $C_{экв} \leq 0{,}45$ не склонны к холодным трещинам при сварке. При $C_{экв} > 0{,}45$ появляется потенциальная возможность их образования в определенных условиях. Значения $C_{экв}$ характеризуют прокаливаемость стали, т. е. некоторую критическую скорость закалки на заданную твердость. Для сварных соединений за допустимую твердость принимают до HV 350, так как при ней на практике не наблюдается холодных трещин; $C_{экв} \leq 0{,}45$ соответствует составам сталей, которые во всем диапазоне сварочных скоростей охлаждения не закаливаются до твердости выше HV 350. Однако для сталей, имеющих $C_{экв} > 0{,}45$, его нельзя считать показателем склонности к трещинам. Такие попытки на основании предполагаемой связи $C_{экв}$ с максимальной твердостью металла сварного соединения не обоснованы.

Параметр трещинообразования, предложенный японскими исследователями [35],

$$P_w = C + \frac{Si}{20} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cr}{20} + \frac{Ni}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B + \frac{[H]}{60} + \frac{k_0\delta}{40 \cdot 10^3},$$

где [H] — содержание диффузионного водорода в металле шва, см³/100 г; k_0 — коэффициент жесткости соединения, кгс/(мм²·мм); δ — толщина металла, мм (табл. 3. А.2.1).

По структуре P_w аналогичен $C_{экв}$, однако коэффициенты при легирующих элементах определены на основании статистической обработки результатов испытаний большого количества сталей на образование трещин с помощью технологической сварочной пробы Тэккен. Кроме того, введены члены, отражающие влияние концентрации водорода и жесткости соединения. [H] *1 определяют по мето-

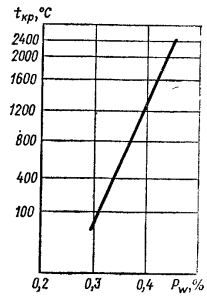


Рис. 22. Рекомендуемый тепловой режим сварки в зависимости от параметра P_w для низколегированных сталей состава (%):

C 0,07—0,22; Si 0—0,6; Mn 0,4—1,4; Cr 0—1,2; Ni 0—1,2; Mo 0—0,7; Cu 0—0,5; V 0—0,12; B 0—0,005; Nb и Ti по 0—0,5; $t_{кр}$ — время охлаждения от 300 до 100° С; [H] = 1 ÷ 5 см³/100 г [35]

дике МИС путем наплавки сварочных материалов на образец 10×25×110 мм в медном зажимном приспособлении и помещения его в вакуумное измерительное устройство до полного выделения диффузионного водорода [1, 40]; k_0 характеризуется силой сопротивления, соответствующей перемещению кромки соединения на 1 мм и отнесенной к единице толщины металла и длины шва. Коэффициент k_0 в ряде случаев может быть рассчитан с помощью методов теории упругости или определен экспериментально нагружением соединения. Для различных по жесткости сварных соединений $k_0 = 50 \div 400$ кгс/(мм²·мм). Если $P_w > 0{,}285$, то в сварных соединениях (с X-, V- и U-образными разделками) вероятно образование холодных трещин. Величина P_w служит основанием для назначения теплового режима сварки (времени охлаждения $t_{кр}$ от 300 до 100 °С), исключающего трещины при сварке низколегированных сталей мартеновской выплавки с $\sigma_в = 60 \div 80$ кгс/мм² (рис. 22).

Сварочные технологические пробы представляют собой образцы определенной формы и размеров, которые сваривают в соответствии с установленной технологией. Эффективность проб характеризуется способностью воспроизводить трещины в материалах с низкой склонностью к трещинам. По возрастанию эффективности (или «жесткости») применяемые пробы можно ориентировочно расположить

*1 [H] = 1,27$H_{гл}$ + 2,2 см³/100 г, где $H_{гл}$ — концентрация водорода по глицериновой пробе.

в следующем порядке: лабораторного назначения — Лихайская, крестовая, Тэккен, проба с набором образцов (ВМЭИ), с круговой наплавкой (NCFW), Кренфильд, ЦНИИТМАШ, отраслевого назначения — ЦНИИТС, круглый вварыш и др.

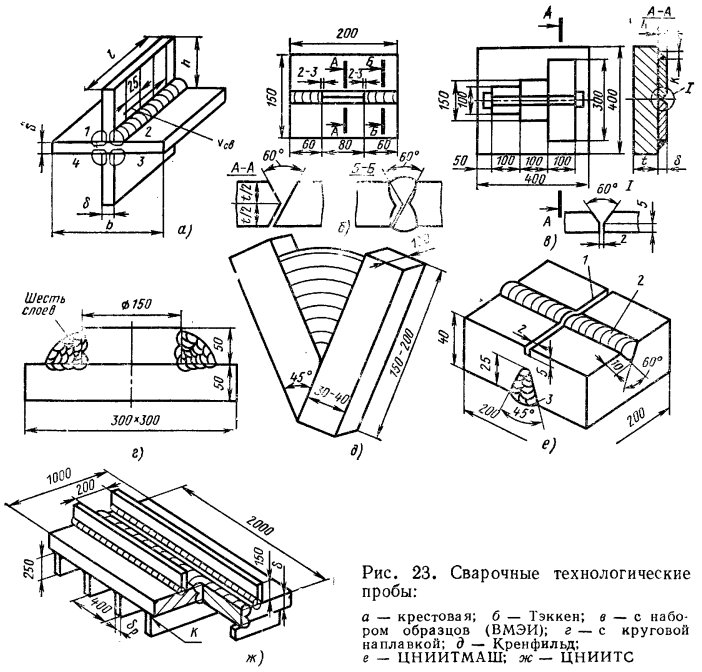


Рис. 23. Сварочные технологические пробы:

а — крестовая; *б* — Тэккен; *в* — с набором образцов (ВМЭИ); *г* — с круговой наплавкой; *д* — Кренфильд; *е* — ЦНИИТМАШ; *ж* — ЦНИИТС

Лихайская проба описана на стр. 404 (табл. 3, Б.1.6).

Крестовая проба [21] (табл. 3, Б.1.1 (4.5). Размеры образца (рис. 23, *а*) приведены в табл. 4.

4. Размеры образца крестовой пробы, мм

δ	*l*	*b*	*h*	Катет шва	Начальная температура, °С
≤15	150	150	75	6—8	—40, —20,0, +20, 75, 125,
>15	300	300	150	8—10	150, 200, 250

Стыкуемые поверхности элементов пробы обрабатывают механическим путем. Сборку образца выполняют без зазора с помощью связующих швов. При сварке соблюдается одинаковая начальная температура пробы перед укладкой каждого шва. После сварки образцы выдерживают на воздухе не менее 24 ч. Затем из пробы вырезают поперечные темплеты для контроля с целью определения наличия трещин. Шлифы травят 2—4%-ным раствором HNO_3 в этиловом спирте. Микрошлифы исследуют при увеличении не менее, чем в 100 раз. Основным качественным критерием склонности к трещинам является факт наличия или отсутствия трещин в образце пробы. За дополнительные критерии, имеющие полуколичественный характер, принимают начальную температуру образца пробы или номер шва, при которых образуются трещины.

Проба Тэккен [36] (табл. 3, Б.1.3, рис. 23,*б*). Центральную канавку с У-сбразной разделкой кромок заваривают на режимах, обеспечивающих толщину шва не более 6 мм. Обязательным условием использования пробы является наличие непровара в корне шва. Трещины преимущественно образуются в околошовной зоне со стороны Х-образной части разделки от концентратора напряжений в корне шва. Контрольный шов сваривают при различных температурах предварительного подогрева. Контроль для определения наличия трещин аналогичен контролю, применяемому для крестовой пробы. Основным критерием склонности к трещинам является критическая скорость охлаждения при 300 °С (или время охлаждения от 800 до 500 °С), при которой появляются трещины в корне сварного шва.

Проба ВМЭИ с набором образцов [41] (табл. 3, Б.2.6, рис. 23, *в*). Перед испытанием образцы исследуемого материала приваривают к жесткой плите связующими швами. Толщина плиты 40, 50 и 600 мм соответственно для толщины испытываемых образцов δ, равной 10—16, 10—20 и 20—30 мм. Катет связующих швов K равен толщине образцов. Контрольный стыковой шов сваривают за один проход через весь набор закрепленных образцов. Сварку выполняют на режимах, обеспечивающих толщину шва не более 6 мм. Контроль для определения наличия трещин выполняют аналогично контролю трещин в крестовой пробе. Критерием склонности к трещинам является критическая степень жесткости $K = k_0\delta$ кгс/(мм·мм), при которой образуются трещины; для элементов набора суммарной длиной 100, 150 и 300 мм k_0 составляет соответственно 210, 140 и 70 кгс/(мм²·мм).

Проба с круговой наплавкой [38] (табл. 3, Б.1.5, рис. 23, *г*). Сварку выполняют слоями, содержащими несколько валиков. Промежуточная температура между слоями не выше 50 °С. После каждого слоя контролируют наличие трещин визуальным осмотром и магнитным (или ультразвуковым) методом. После окончания сварки образец пробы выдерживают семь суток и разрезают на четыре поперечных шлифа. Шлифы контролируют при увеличении не менее 100. Критерием оценки склонности к трещинам является номер слоя, после наложения которого образуются трещины.

Проба Кренфильд [33] (табл. 3, Б.1.5, рис. 23, *д*). Технология сварки пробы и критерий аналогичны применяемым для пробы с круговой наплавкой. Пробу применяют для сранительной оценки склонности основного металла к «ламеляр-ным» трещинам при многослойной сварке.

Проба ЦНИИТМАШ [табл. 3, Б.1.5, рис. 23, *е*). Первым сваривают контрольный шов *2* за четыре прохода. После сварки за время не более 0,5 ч фрезеруют канавку *1* поперек контрольного шва с целью создания концентрации напряжений в зоне сварного соединения. Затем сваривают деформирующий шов 3 (от 1 до 12 слоев). За основной критерий склонности к трещинам принимают число деформирующих валиков, при котором образуются трещины.

Пробу применяют для сравнительной оценки склонности материалов к поперечным холодным трещинам при многослойной сварке.

Проба ЦНИИТС [21] (табл. 3, Б.4.1, рис. 23, *ж*, табл. 5). Сварку образца пробы выполняют по технологии, принятой при производстве сварных конструкций. Для воспроизведения условий сварки на открытом воздухе при отрицательных температурах образец охлаждают твердой углекислотой, куски которой по 1—2 кг укладывают на его поверхность по обе стороны от шва на расстоянии 100—150 мм.

5. Размеры образца пробы ЦНИИТС, мм

δ	$\delta_р$	K
До 20	Продольные и поперечные, 10—20	С одной стороны, 6
20—30	Поперечные: 14—16	С двух сторон: 8
Св. 30	20—24	10

6. Критерии стойкости пробы ЦНИИТС

Условия сварки				Группа стойкости против трещин
Способ сварки	Температура, °С: начальная	Температура, °С: перед последующим слоем	Состояние кромок	
Блоками (~ 1 м)	20	Не ниже 80—100	—	IV
Напроход	20	20	—	III
То же	—25	—25	Нагрев до 40 °С газовым пламенем	II
»	—25	—25	Протирка ветошью	I

Через сутки после сварки образец около сварного шва простукивают кувалдой массой 4—5 кг для раскрытия трещин. Затем газовой или анодно-механической резкой из сварного соединения вырезают заготовки для продольных ($\delta \times 200$), послойных ($10 \times 80 \times 200$) и поперечных ($\delta \times 20 \times 80$) шлифов. Макрошлифы контролируют для определения трещин с помощью лупы при трехкратном увеличении. Критерием стойкости сварных соединений против трещин являются условия сварки образца, при которых не образуются трещины. В судостроении установлены четыре группы стойкости (табл. 6).

Испытания с помощью пробы ЦНИИТС являются обязательными в судостроении для установления пригодности материалов и технологии сварки для производства судовых корпусных конструкций.

Проба «круглый вварыш» (табл. 3, Б.4.1) описана на стр. 405. К главным недостаткам проб следует отнести: 1) качественный или полуколичественный характер критериев оценки склонности (стойкости) к трещинам; 2) неспособность многих проб дать оценку всех материалов, при сварке которых наблюдаются трещины. Эти недостатки делают пробы малопригодными для исследовательских работ по технологической прочности. Для указанных целей применяют методы количественной оценки, основанные на механических испытаниях сварных образцов или образцов основного металла, обработанных имитированным сварочным термическим или термодеформационным циклом.

Испытание сварных образцов на замедленное разрушение по методу ЛТП2 * [21] (табл. 3, Б.2.1). Метод ЛТП2 основан на предпосылке, что холодные трещины являются случаем замедленного разрушения «свежезакаленной» стали. Испытания состоят в нагружении серии сварных образцов ограниченных размеров непосредственно после сварки (после охлаждения до 50 °С) различными внешними длительно действующими постоянными нагрузками. Последние моделируют постоянное действие остаточных сварочных напряжений в конструкциях. За количественный показатель сопротивляемости сварного соединения образованию трещин принимают минимальное растягивающее напряжение от постоянной внешней нагрузки, при котором в образце возникают трещины. При испытании сталей перлитного и мартенситного классов достаточна вылержка под нагрузкой в течение 20 ч. Испытания по различным схемам позволяют воспроизводить все разновидности холодных трещин в сварных соединениях и оценивать сопротивляемость материалов их образованию (табл. 7). Исходя из простоты оборудования, применения небольших нагружающих сил и возможности одновременного испытания серии из пяти-десяти образцов для широкого применения целесообразны схемы испытания, предусматривающие нагружение изгибающей нагрузкой.

* Предложен в МВТУ им. Баумана Н. Н. Прохоровым

7. Схемы испытаний по методу ЛТП2, образцы и оборудование

Схема нагружения	Тип сварного образца	Толщина, мм	Оборудование для испытания
1. Растяжение	1. Прямоугольный с поперечным стыковым швом 2. Прямоугольный с продольным стыковым швом	1—10	Разрывные машины ЛТП2-4 и ЛТП2-7, создающие постоянное усилие от 5 до 100 тс
2. Изгиб распределенной нагрузкой образца, жестко закрепленного по контуру	3. Круглый (или восьмигранный) плоский со стыковым швом по диаметру	1—3	Гидропластмассовое устройство ЛТП2-5, развивающее давление до 150 кгс/см²
3. Изгиб консольный	4. Тавровый с угловым швом	8—20	Установка ЛТП2-3 для нагружения постоянным изгибающим моментом от 10 до 165 кгс·м
4. Изгиб трехточечный сосредоточенной нагрузкой	5. Прямоугольный с поперечным стыковым швом 6. Прямоугольный с продольным стыковым швом	8—20	Прессы или разрывные машины, снабженные устройствами для сжатия усилием 3—30 тс, с жесткими скобами (ЛТП2-6)

При сварке образцов для испытаний по ЛТП2 необходимо воспроизводить и фиксировать термический цикл (например, скорость охлаждения при 550 °С), характерный для сварки конструкций из металла исследуемой толщины. Необходимо определять концентрацию водорода в наплавленном металле с помощью спиртовой карандашной пробы [6] или вакуумным методом [1, 40]. Показатель сопротивляемости стали трещинам может использоваться только при одновременном указании термического цикла сварки и концентрации водорода в наплавленном металле.

Испытание круглых образцов путем изгиба распределенной нагрузкой (табл. 7.2.3, рис. 24 и 25). Образцы сваривают в зажимных приспособлениях из меди толщиной, равной трем—пяти толщинам свариваемого металла. Устройство для испытаний ЛТП2-5 состоит из корпуса, заполненного гидропластмассой, и плунжерной пары, с помощью которой внутри корпуса создается давление до 150 кгс/см². Гидропластмасса СМ обладает высокой вязкостью и неспособностью течь в зазорах 0,02 мм и менее, что обеспечивает в устройстве ЛТП2-5 практическое постоянство давления во времени. При подгрузке в первый час испытания падение давления в последующий период не превышает 2—3%. При испытании поверхность образца в центральной части подвергают равноосному растяжению. Сопротивляемость трещинам оценивают либо по критическому давлению, либо по критическому напряжению, рассчитанному с помощью теории упругости:

$$\sigma_р \approx 0{,}12 \left(\frac{D_и}{\delta}\right)^2 p + 0{,}00044 \frac{1}{E} \left(\frac{D_и}{\delta}\right)^6 p^2.$$

Изгиб тавровых образцов консольным изгибом (табл. 7.3.4, рис. 24 и 26). Образцы собирают и сваривают «в лодочку» в приспособлении из двух медных пластин, охлаждаемых по внутренним каналам водой. Установка для испытаний ЛТП2-3 состоит из пяти одинаковых секций, собранных на общей станине. Образец нагружают изгибающим моментом с помощью рычага и грузов; грузы посредством лебедки и тросов можно перемещать по рычагу, изменяя момент. Максимальная масса свинцовых грузов составляет 150 кг, а максимальный изгибающий мо-

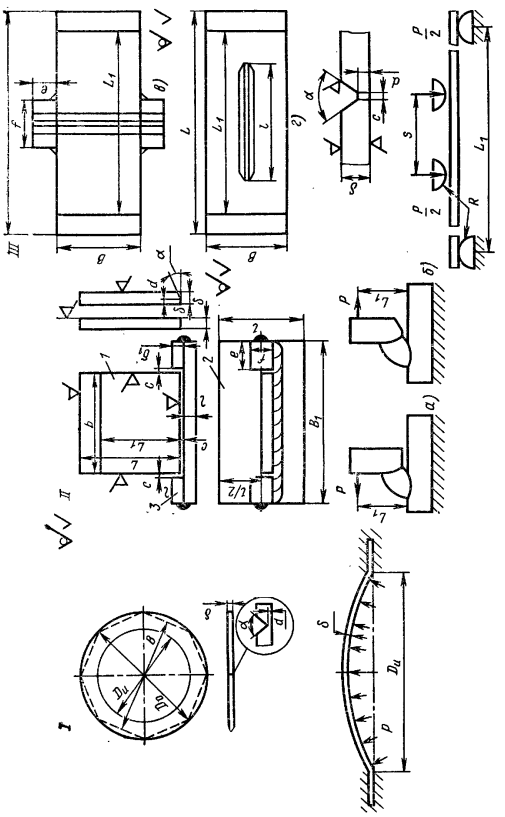


Рис. 24. Форма, размеры образцов и схемы их испытаний по методу ЛТП2:
I — круглый (восьмигранный) образец; *II* — тавровый образец для испытаний околошовной зоны (*а*) и сварного шва (*б*); *1* — стенка из испытываемой стали; *2* и *3* — полка и технологические планки из стали Ст5; *III* — стыковой образец с поперечным (*в*) и продольным (*г*) швами;

Размеры образцов, мм

Тип	δ	D_0	$D_и$	B	L	L_1	σ^*	d	l	$e \times f$	c	δ_1	B_1	s	R
I	1—3,5	148	100	135	—	—	60	1	—	—	1,5—2	10—14	150	—	—
II	8—20	—	—	100	100	80	15	4	100	25×25	2	—	—	40	8
	8—14	—	—	100	230	200	60	3—7 (2)*	150	30×40	3	—	—	50	10
III	16—20	—	—	100	330	280	60	9—13 (3)*	180	30×40					

* Для образцов, предназначенных для испытаний корня сварного соединения.

мент 165 кгс·м. После испытания образцы со стороны корня шва травят 5%-ным раствором HNO_3, высушивают и разрушают. Протравленные участки излома считают трещинами. Сопротивляемость трещинам оценивают критическим разрушающим напряжением

$$\sigma_р \approx \frac{6M_{изг}}{bh^2},$$

где $M_{изг}$ — постоянный изгибающий момент, кгс·мм; b — ширина образца, мм; h — средняя высота излома (или катета шва) по трем—пяти измерениям, мм.

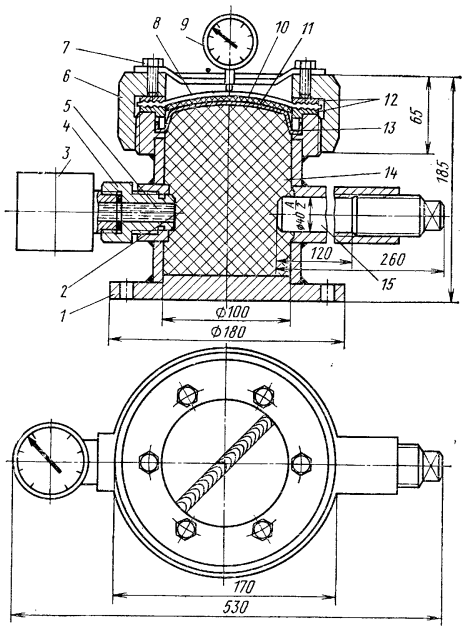


Рис. 25. Нагружающее устройство ЛТП2-5:
1 — корпус; *2* — резиновая мембрана; *3* — манометр; *4* — переходная втулка; *5* — глицерин; *6* — запорное кольцо; *7* — болт; *8* — образец; *9* — индикатор; *10* — резиновая прокладка; *11* — резиновый обтюратор; *12* — закаленные наружные кольца; *13* — кольцо; *14* — гидропластмасса; *15* — плунжерная пара

Испытания стыковых образцов путем изгиба сосредоточенной нагрузкой (табл. 7.4.5, 4.6, рис. 24 и 27). Образцы сваривают в медных зажимных приспособлениях, охлаждаемых водой, или охлаждают нижнюю поверхность водяным душем. Сваренные образцы изгибают в жестких скобах ЛТП2-6. После достижения заданного усилия нагружения или прогиба с помощью гайки фиксируют положение штока, пуансона и сварного образца в напряженном состоянии. В скобках

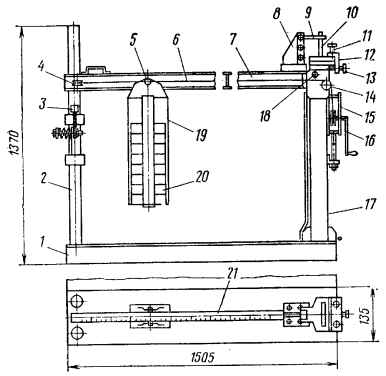


Рис. 26. Испытательная установка ЛТП2-3:

1 — станина; *2* — задняя опора; *3* — амортизатор; *4, 14* — блоки; *5* — каретка; *6* — трос; *7* — рычаг нагружения; *8* — кронштейн; *9* — тяга; *10* — образец; *11, 13* — винты; *12* — стол; *15, 16* — лебедка; *17* — передняя опора; *18* — ось рычага; *19* — кассета с набором грузов; *20* — грузы; *21* — шкала, см.

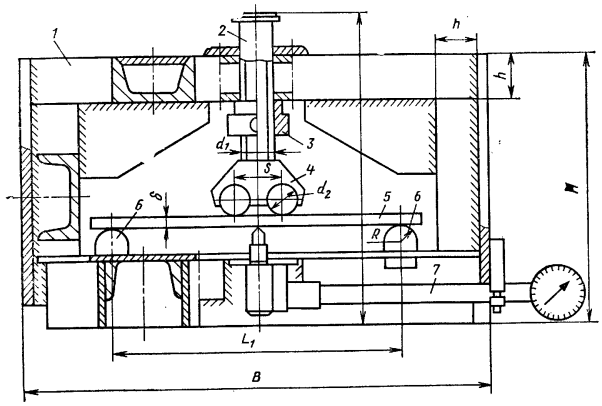


Рис. 27. Жесткая скоба ЛТП2-6:

1 — корпус; *2* — шток; *3* — гайка; *4* — пуансон; *5* — образец; *6* — опоры; *7* — устройство для измерения прогиба

Размеры скобы, мм

δ	B	H	L_1	d_1	d_2	R	s	G	h
8—14	325	235	200	30	16	8	40	270	60
16—20	510	270	280	30	20	10	50	310	80

Примечание. При испытании образцов с продольным швом применяют пуансон с одной опорой ($s = 0$).

образцы выдерживают в течение 20 ч. Наличие трещин выявляют визуальным осмотром поверхности образца или его излома по максимально нагруженному сечению. Перед изломом образец травят 5%-ным раствором HNO_3 и высушивают. Протравленные участки излома считают трещинами. Сопротивляемость трещинам оценивают критическим разрушающим напряжением

$$\sigma_p \approx k \frac{12E\delta (f_m - f_0)}{2L_1^2 + 2s - s^2},$$

где f_m — полный прогиб в центре образца; f_0 — остаточный прогиб на базе L_1; k — переменный коэффициент, учитывающий возрастание момента сопротивления при изгибе при развитии пластической деформации (при $f_0 = 0$ $k = 1$; при $f_0 = 2f_y$ $k = 0{,}80$; при $f_0 = 4f_y$ $k = 0{,}65$; f_y — упругий прогиб при $f_0 = 0$).

Метод оценки сопротивляемости сталей холодным трещинам при сварке, заключающийся в испытании сварных образцов на замедленное разрушение в условиях нагружения постоянным усилием, получил широкое распространение в СССР [21, 22 и др.] и за рубежом [34 и др.]. Результаты испытаний некоторых промышленных марок стали приведены в табл. 8 [12]. Минимальное разрушающее напряжение зависит от режима сварки, глубины проплавления и формы поверхности шва, термического цикла сварки, регулируемого применением зажимных приспособлений и подкладок под корень шва из меди и других материалов.

8. Сопротивляемость различных сталей образованию холодных трещин при сварке [12]

Марка стали	Минимальное разрушающее напряжение, кгс/мм²	Марка стали	Минимальное разрушающее напряжение, кгс/мм²	Марка стали	Минимальное разрушающее напряжение, кгс/мм²
26Х2НВБРА	110	35Х4Н4СКЛ	60	27ХГСНМЛ	45
32Х2НВБРА	65	40Х4Н4СКЛ	35	30Х2ГСНМА	95
37Х2НВБРА	50	25ХГСА	90	40ХГСН3ВА	20
42Х2НВБРА	35	30ХГСА	70	42Х2ГСНМА	55
25ХСНВФА	75	35ХГСЛ	35	50Х2ГСНМА	20
30Х4Н4СКЛ	75	30ХГСНА	60	43Х3СНМВФА	20
30Х2СН2В2МФА	65	20ХГСНМА	115		

Условия испытания. 1. Тип и размеры образцов — плоский, круглый, толщина 3 мм, рабочий диаметр 100 мм. 2. Способ и режим сварки: аргонодуговой переплав вольфрамовым электродом $I_{св} = 160 \div 170$ А; $v_{св} = 12$ м/ч. 3. Способ испытаний: метод ЛТП2, установка ЛТП2-5. 4. Расположение трещин: на поверхности шва вдоль его оси.

Испытания образцов основного металла на замедленное разрушение (табл. 3, Б.3.1). Испытания предусматривают растяжение или изгиб серии образцов различными по величине постоянными длительно действующими нагрузками. Под нагрузкой образцы из сталей перлитного и мартенситного классов выдерживают в течение 20 ч. За прочность при замедленном разрушении принимают минимальное напряжение, при котором происходит разрушение образцов или в них образуются трещины. Перед испытанием в образцах воспроизводят структурное состояние, характерное для околошовной зоны.

Метод ЛТПЗ [14, 21] (рис. 28 и 29). Образцы подвергают воздействию имитированного сварочного термического и деформационного циклов, а также насыщению водородом. Возможно испытание при имитации только термического цикла или его сочетания с насыщением водородом. Образцы нагревают проходящим электрическим током от контактного сварочного трансформатора. Максимальная температура нагрева T_{max} зависит от состава стали и должна соответствовать началу оплавления границ аустенитных зерен, поскольку этому состоянию соот-

ветствует минимальная прочность при замедленном разрушении [21]. Эту температуру определяют путем металлографического исследования поверхности тонкошлифованных образцов, нагретых в атмосфере инертного газа, по появлению на границах темной фазы, имеющей округлую форму.

Водородом образцы насыщают электролитическим способом перед обработкой термическим циклом. Насыщение выполняют в растворе H_2SO_4 в дистиллированной воде концентрации 0,1 н с добавкой 0,5 г $Na_2S_2O_3$ на 1 л в качестве стимулятора при плотности тока 10 А/см² (образец—катод, платиновая пластина или спираль — анод). Насыщение в течение 0,5 ч при указанном режиме обеспечивает среднюю концентрацию диффузионного водорода (по вакуумному методу [1]) до 7 см³/100 г. После обработки термическим циклом концентрация понижается до 1,0—2,5 см³/100 г. Такая последовательность позволяет получить равномерное распределение водорода по сечению образца.

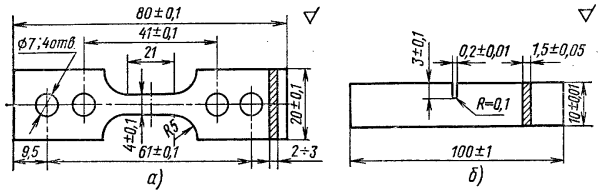


Рис. 28. Образцы основного металла для испытаний на замедленное разрушение после обработки имитированным сварочным термодеформационным циклом по методике ЛТП3 растяжением (*а*) и изгибом (*б*)

Деформационный цикл воспроизводят на этапе охлаждения путем растяжения образцов с заданной постоянной скоростью либо во всем диапазоне температур от T_{max} до 20 °С, либо в заданном интервале температур. Скорости деформации и конечные величины деформаций выбирают того же порядка, что и при сварке.

После воспроизведения в образцах сварочного термодеформационного цикла их нагружают постоянной нагрузкой путем растяжения или изгиба в приспособлениях к машине ЛТП2-3 (рис. 29). На образцах, предназначенных для испытаний изгибом, делают боковой надрез камнем в течение 1 мин после обработки термическим циклом. Разрушающие напряжения определяют условно по формуле для чистого изгиба с учетом только рабочего сечения образца.

Воспроизведение в образцах термических и деформационных сварочных циклов выполняют на машинах типа ЛТП3-5 (стр. 395) или установке ЛТП3-6м [14]. Последняя обеспечивает вертикальное расположение образцов, что позволяет нагревать образцы на большой базе до весьма высоких температур без потери устойчивости. Оно также снабжено быстродействующим дилатометром, фиксирующим изменения ширины образца как при термическом, так и деформационном цикле.

Определение запаса стойкости против трещин (табл. 3, Б.5.1). Показатель сопротивляемости трещинам не может быть непосредственно применен для оценки стойкости сварных соединений конструкций против трещин, поскольку он отражает только свойства материалов. Стойкость соединений помимо этого зависит еще от величины сварочных напряжений. Запас стойкости в принципе может быть определен сопоставлением показателя сопротивляемости и сварочных напряжений с помощью определенного критерия прочности. Однако в настоящее время еще затруднено определение напряжений в большинстве сложных по форме конструкций и не разработан указанный критерий прочности. Одним из возможных путей определения запаса стойкости является сопоставление показателей

сопротивляемости исследуемого материала с эталонным, т. е. материалом того же класса, при применении которого в сварных конструкциях отсутствовали трещины. Другой путь — сопоставление показателя сопротивляемости исследуемого материала с допустимым для данного типа конструкций. Последний определяется путем параллельного проведения испытаний по методу ЛТП2 и сварки соответствующих сварных конструкций или заменяющих их натурных образцов

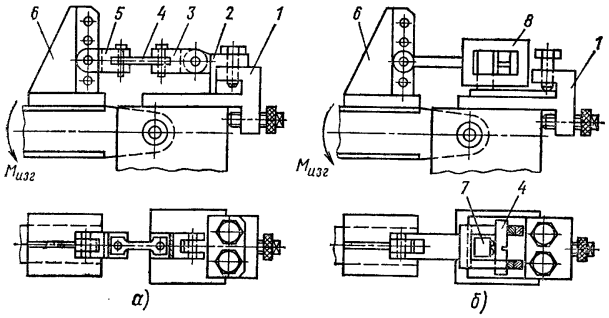


Рис. 29. Схема испытания образцов основного металла на замедленное разрушение на машине ЛТП2-3:

а — растяжением; *б* — изгибом; *1* — стол; *2* — основание захвата; *3*, *5* — захваты; *4* — образец; *6* — стойка; *7* — опоры; *8* — траверса

[3]. При этом соблюдается идентичность термических циклов, влажности электродных материалов и окружающего воздуха. Последние условия задаются в двухтрех вариантах так, чтобы они обусловливали как образование, так и отсутствие трещин в сварной конструкции. Показатель сопротивляемости по методу ЛТП2, соответствующий условиям, при которых отсутствовали трещины в конструкции, принимают за допустимый. Равенство или превышение показателя сопротивляемости материала показателю эталонного материала или допустимого гарантирует стойкость против трещин при сварке конструкций из новых материалов.

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ СТАЛЕЙ ОБРАЗОВАНИЮ ХОЛОДНЫХ ТРЕЩИН

Способы повышения сопротивляемости сталей перлитного и мартенситного классов трещинам направлены на устранение отрицательного действия основных факторов, обусловливающих их образование. В соответствии с этим способы можно разделить на группы.

1. Регулирование структуры металла сварных соединений тепловым воздействием путем повышения q/v, предварительным подогревом, сопутствующим нагревом и последующим отпуском. Эффективность различных способов связана с их воздействием на структурно определяющие параметры термического цикла: время пребывания при высоких температурах выше 900 °С ($t_{>900}$), скорости охлаждения при 550 и 300 °С (w_{550} и w_{300}). Повышение q/v увеличивает $t_{>900}$ и уменьшает w_{550} и w_{300} в пропорциональной зависимости при многослойной сварке больших толщин и в квадратичной — при однопроходной сварке соединений малых и средних толщин. Предварительный подогрев в пределах 100—400 °С наиболее сильно воздействует на w_{300}, а затем по убывающей степени на w_{550}

и $t_{>900}$. Сопутствующий подогрев в основном замедляет w_{300}. Изменения $t_{>900}$ w_{550} и w_{300} по-разному влияют на структуру и сопротивляемость стали трещинам в зависимости от состава и характера ее сварочной анизотермической диаграммы превращения аустенита [24]. Для углеродистых и низколегированных сталей, не содержащих карбидообразующих элементов, с низкой устойчивостью аустенита при температурах перлитного превращения (стали 45, 20Г2, 18Г2ФА и др.) наиболее важным является показатель w_{550}. Это объясняется тем, что практически для всех способов сварки, повышая q/v и вводя подогрев, изменением w_{550} можно получить перлитную или заданную смешанную структуру, стойкую против трещин. Влияние $t_{>900}$ незначительно, так как связанные с ним процессы гомогенизации и роста зерна успевают завершиться за короткое время и не поддаются регулированию тепловыми воздействиями. Для среднеуглеродистых среднелегированных сталей, содержащих карбидообразующие элементы, с высокой устойчивостью аустенита при температурах перлитного и бейнитного превращения (30ХГСНА, 42Х2ГСНМА, 43Х3СНМФА и др.), при сварке в широком диапазоне тепловых режимов характерно мартенситное превращение аустенита. Для этих сталей рекомендуется сопутствующий подогрев до температур несколько выше конца мартенситного превращения с целью уменьшения w_{300} и обеспечения самоотпуска мартенсита. Важным является уменьшение $t_{>900}$, поскольку высокотемпературные процессы замедлены в связи с наличием карбидов в исходной структуре и имеется возможность регулирования величины зерна и однородности аустенита. Поэтому рекомендуется применять концентрированные источники тепла и многослойную сварку и не рекомендуется предварительный подогрев. Для низкоуглеродистых среднелегированных сталей с повышенным содержанием никеля (12ХН4МДА, 18Х2Н3МДА и др.), имеющих высокую устойчивость аустенита при температурах перлитного превращения, при сварке в широком диапазоне тепловых режимов характерно превращение в области нижнего бейнита и частично в области мартенсита. Эти стали занимают промежуточное положение по сравнению с рассмотренными выше группами сталей. При их сварке рекомендуется умеренный подогрев до 100—150 °С, не вызывающий существенного увеличения $t_{>900}$ и вместе с тем понижающий w_{550} с целью смещения бейнитного превращения в область более высоких температур и уменьшения количества мартенситной составляющей. Полезен сопутствующий подогрев для самоотпуска мартенситной составляющей и удаления диффузионного водорода из сварного соединения. Отпуск сварных соединений проводят главным образом для среднеуглеродистых среднелегированных сталей при температурах 300—650 °С. Важным является время начала отпуска после сварки, которое составляет от 0,5 до 2 ч. При назначении температуры сопутствующего подогрева и отпуска необходимо учитывать возможность развития процессов отпускной хрупкости и термического старения.

2. Предварительная термическая обработка стали с целью получения в исходной структуре устойчивых коагулированных легированного цементита и специальных карбидов. Такой термической обработкой может быть отжиг на зернистый перлит при $T \approx Ac_1 - 25$ °С в течение 4—16 ч в зависимости от содержания углерода и карбидообразующих элементов [21]. Отжиг является эффективным способом повышения сопротивляемости трещинам для сталей, содержащих С $\geqslant 0{,}30\%$, и карбидообразующих элементов (Cr, Mo, W, V и др.) в сумме более 1%. При сварке замедленное растворение карбидов ограничивает рост зерна и снижает степень гомогенизации аустенита, что повышает начало превращения аустенита на 100—200 °С и обусловливает образование бейнитно-мартенситной структуры вместо мартенситной.

3. Применение сварочных материалов с возможно более низкой температурой кристаллизации металла шва [10, 22]. Выбор материалов рекомендуется производить по соотношению $\Delta T = T_{\text{д.о.м}} - T_{\text{с.м.ш}}$ (где $T_{\text{д.о.м}}$ и $T_{\text{с.м.ш}}$ — температуры ликвидуса основного металла и солидуса металла шва соответственно). При завершении кристаллизации шва околошовная зона испытывает высокотемпературный перегрев вследствие выделения теплоты затвердевания. При применении сварочно-

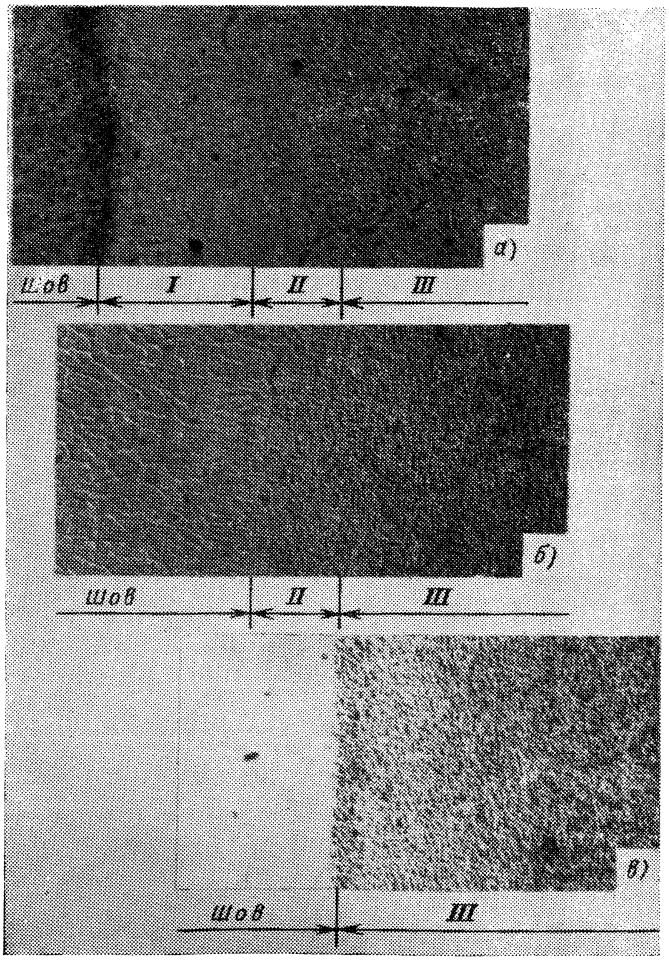


Рис. 30. Микроструктура околошовной зоны стали 43Х3СНМВФА, сваренной ферритным (*а*), мартенситным (*б*) и аустенитным (*в*) швами. × 160:
I — участок полной гомогенизации; *II* и *III* — участки частичной гомогенизации

ных материалов с высокой $T_{с.м.ш}$ перегрев приводит к полному расплавлению участка основного металла у линии сплавления протяженностью один—два зерна (см. рис. 21, *в*) и последующую полную его гомогенизацию. В результате в этой локальной зоне образуется напряженный низкотемпературный мартенсит без следов самоотпуска с очень низкой сопротивляемостью трещинам (рис. 30, *а*). При $\Delta T \geqslant 80$ °С отрицательное действие перегрева не проявляется и обеспечивается высокая сопротивляемость околошовной зоны трещинам. Лучше всех этому соотношению при сварке низко- и среднелегированных сталей удовлетворяют аустенитные сварочные материалы с большим запасом аустенитности типа 10Х16Н25М6 (ЭА-981/15, ЭА-395), а также высокопрочные легированные материалы типа 20Х2Г2НМВА (электрод Н-17), 15ХГ2МВ1А (электрод НИАТ-3М). Для определения температур кристаллизации сталей рекомендуется метод термокинетического анализа применительно к дуговой сварке [8].

4. Снижение содержания водорода в наплавленном металле: 1) прокалкой электродов при 450—480 °С и флюсов при 500—900 °С в течение не менее 3 ч, осушением защитных газов, если их точка росы выше —55°, пропусканием их через осушитель, заполненный силикагелем или другими поглотителями влаги; 2) тщательной очисткой свариваемых кромок и сварочной проволоки от масла, ржавчины и конденсированной влаги; 3) применением при абсолютной влажности воздуха выше 12—14 г/м^3 способов сварки, которые характеризуются минимальным захватом воздуха дугой; лучшими в этом отношении являются аргонодуговая и сварка под флюсом; 4) замедлением охлаждения сварного соединения путем сопутствующего подогрева и последующего отпуска при 200—300 °С.

5. Снижение уровня сварочных напряжений различными конструктивными и технологическими способами, в том числе проковкой, прокаткой и опрессовкой швов и сварных соединений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Вакуумный** метод определения диффузионного водорода применительно к ручной сварке. /А. М. Левченко, Е. П. Озеров, Г. Л. Петров и др. Труды ЛПИ № 336, 1974, с. 3—6.
2. **Винокуров В. А.** Сварочные деформации и напряжения. М., Машиностроение, 1968. 233 с.
3. **Выбор** технологии сварки, обеспечивающей стойкость сварных соединений против образования холодных трещин. /Э. Л. Макаров, В. Ф. Чабуркин, Л. С. Лившиц и др. — Сварочное производство, 1972, № 8. с. 30—32
4. **Горячие** трещины при сварке жаропрочных сплавов. /М. Х. Шоршоров, А. А. Ерохин, Т. А. Чернышова. М., Машиностроение, 1973. 223 с.
5. **Зимина Л. Н.** Свариваемые жаропрочные никелевые сплавы и принципы их легирования. — Металловедение и термическая обработка металлов. 1977. № 11, с. 2—7.
6. **Козлов Р. А.** Водород при сварке корпусных сталей. Л., Судостроение, 1969. 175 с.
7. **Конищев Б. П., Полынин Г. Е., Якушин Б. Ф.** Оценка стойкости металла против образования и развития горячих трещин при сварке. — Сварочное производство, 1977, № 7, с. 12—13.
8. **Макаров Э. Л., Меньшинин С. В.** Устройство для определения температуры кристаллизации сплавов при дуговой сварке. — Автоматическая сварка, 1975, № 3, с. 47—49.
9. **Макаров Э. Л.** Природа разрушения при образовании «холодных» трещин в высокопрочных закаливающихся сталях при сварке. Труды МВТУ № 248. Прогрессивная технология конструкционных материалов. 1977, с. 85—105.
10. **Макаров Э. Л., Федоров В. Г.** К вопросу о выборе электродных материалов для сварки высокопрочных сталей. Труды МВТУ № 167. Прогрессивная технология конструкционных материалов. 1973, с. 104—108.
11. **Макаров Э. Л.** Микроскопическая химическая неоднородность в сварных соединениях среднелегированных сталей. Труды МВТУ № 202. Прогрессивная технология конструкционных материалов. 1976, с. 92—103.
12. **Макаров Э. Л., Лазько В. Е.** Сравнительная оценка свариваемости среднелегированных сталей. — Сварочное производство, 1977, № 12, с. 29—31.
13. **Морочко В. П., Сорокин Л. И., Панов Ю. П.** Влияние режима электронолучевой сварки жаропрочных никелевых сплавов на их склонность к образованию горячих трещин. Материалы конференции «Электронолучевая сварка». МДНТП, 1978, с. 120—124.
14. **Новиков Н. Н., Макаров Э. Л., Калмыков В. С.** Методы и результаты исследований технологической прочности при сварке на образцах с имитацией сварочного термодеформационного цикла. Сб. МВТУ № 248. Прогрессивная технология конструкционных материалов. 1977, с. 66—84.

15. **Носовский Б. И., Якушин Б. Ф., Прохоров Н. Н.** Влияние сварочного цикла н. прочность аустенитных сталей при рабочих температурах. — Сварочное производство, 1972, № 3, с. 1—3.
16. **Оценка** стойкости металла шва против образования горячих трещин при сварке магистральных трубопроводов. /В. Ф. Чабуркин, Л. С. Лившиц, А. С. Рахманов и др. — Сварочное производство, 1972, № 2, с. 13—17.
17. **Повышение** технологической прочности при сварке под флюсом за счет введения порошкообразного присадочного металла. / — Б. Ф. Якушин, И. И. Ивочкин, Ю. А. Чернов и др. — Сварочное производство. 1974, № 10, с. 16—17.
18. **Прохоров Н. Н., Якушин Б. Ф., Бардокин Е. В.** Количественная оценка склонности металла околошовной зоны сварных соединений к разрушению при повторном нагреве. Известия вузов, 1976, № 11, с. 141—144.
19. **Прохоров Н. Н.** Физические процессы в металлах при сварке. Т. II. М., Металлургия, 1976, с. 599.
20. **Прохоров Н. Н., Орлов А. С.** Исследование свойств и применимости проб для оценки технологической прочности металлов в процессе кристаллизации при сварке. — Сварочное производство, 1970, № 12, с. 39—42.
21. **Технологическая** прочность металлов при сварке. Справочник по сварке. Т. III. М., Машиностроение, 1970, с. 504.
22. **Технология** электрической сварки металлов и сплавов плавленнем. Под ред. Б. Е. Патона. М., Машиностроение, 1974, с. 768.
23. **Технологическая** прочность соединения, полученного при сварке под флюсом с порошкообразным присадочным металлом стали 16Г2АФ больших толщин. /Б. Ф. Якушин, В. П. Тихонов, И. И. Ивочкин и др. — Сварочное производство, 1977, № 10, с. 4—7.
24. **Шоршоров М. Х.** Металловедение стали и сплавов титана. М., Наука, 1964, с. 336.
25. **Эйдельштейн В. Е., Якушин Б. Ф., Столбов В. И.** Высокотемпературная деформация и образование околошовных трещин при сварке сплава типа Нимоник. — Автоматическая сварка, 1976, № 11, с. 40—44.
26. **Якушин Б. Ф., Чернавский Д. М.** Влияние режима сварки на высокотемпературную деформацию металла шва. — Сварочное производство, 1975, № 6, с. 9—11.
27. **Якушин Б. Ф., Мисюров А. И., Фирсова Р. И.** Закономерности развития высокотемпературных деформаций при сварке. Труды МВТУ № 248. Прогрессивная технология конструкционных материалов. 1977, с. 4—18.
28. **Якушин Б. Ф.** Определение температурного интервала хрупкости и пластичности затвердевающего металла шва. Сб. Автоматизация, механизация и технология процессов сварки. М., Машиностроенне, 1966, с. 213—219.
29. **Якушин Б. Ф.** О достоверности критериев и способов оценки технологической прочности металлов в процессе кристаллизации при сварке. — Сварочное производство, 1971, № 6, с. 11—14.
30. **Якушин Б. Ф., Тихонов В. П.** Получение швов с переменным фазовым составом по сеченню. — Сварочное производство, 1978, № 5, с. 3—6.
31. **Якушин Б. Ф.** Оценка технологической прочности в зависимости от режимов сварки. — Сварочное производство, 1969, № 1, с. 19—23.
32. **Якушина Г. М., Макаров Э. Л., Рыжов Н. М.** Связь очагов холодных трещин со структурой металла шва высокопрочных сталей. — Сварочное производство, 1973, № 5, с. 4—6.
33. **Elliot D. N.** A fractographical examination on lamellar tearing in multirun fillet welds. Metal Construction. N 29, 1969, ps. 50—57.
34. **Inagaki M.** Effects of restraint and hydrogen on root cracking of nigh strength steel welds. Doc. J. J. W. IX — 408—64.
35. **Ito Y., Bessyo K.** A prediction of welding procedure to avoid heat effected zone cracking. Doc. J. J. W. IX—631—69.
36. **Kihara H.** Weld cracking tests of high strength steels and electrodes. Welding Journal. N 1. 1962, ps. 36—48.
37. **Lundin C. D., Spond D. F.** The nature and morphology of fissures in austenitic stainless steel weld metals. Welding Journal. N 11, 1976, ps. 356—367.
38. **Stern J. L., Qudtrone K.** A multiple test approach to the prediction of weldment cracking. Welding Journal. N 5, 1967, ps. 203—216.
39. **Tamura H., Watanaba T.** Mechanism of liguation cracking in weld heat affected zone of high strength steel. Trans. of Japan Welding Society, vol. 4., N 2, 1973, ps. 3—10.
40. **The determination** of hydrogen in mild and low alloy steel weld metals. Doc. J. J. W. P — A — 275—70.
41. **Velkov K., Christov S.** Technologická skúška tupého spoja s odstupňovanou tuhostou na zistovanie odolnosti zvarových spojov proti praskavosti za studena. Zvaranie, N 5, 1974, ps. 138—142.

Глава 15

ОРГАНИЗАЦИЯ И ЭКОНОМИКА СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЦИКЛА ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
(сложного процесса)

Длительность производственного цикла изготовления сварных конструкций ($T_{\text{п. св. кон}}$) — календарный период времени между запуском в производство исходных материалов (заготовок) и выпуском конструкции в готовом виде. Длительность этого цикла складывается из длительностей циклов заготовительных $T_{\text{ц. заг}}$, обрабатывающих $T_{\text{ц. обр}}$, сборочных $T_{\text{ц. сб}}$, сварочных $T_{\text{ц. св}}$, отделочных $T_{\text{ц. отд}}$ и естественных $T_{\text{ц. ест}}$ частичных процессов, времени на контроле $T_{\text{кон}}$, транспортные $T_{\text{тр}}$ операции и времени межоперационного пролеживания изготовляемой сварной конструкции и ее элементов $T_{\text{пер}}$:

$$T_{\text{п. св. кон}} = T_{\text{ц. заг}} + T_{\text{ц. обр}} + T_{\text{ц. сб}} + T_{\text{ц. св}} + T_{\text{ц. отд}} + T_{\text{ц. ест}} + T_{\text{кон}} + T_{\text{тр}} + T_{\text{пер}}.$$

Длительность производственного цикла сварной конструкции зависит от количества и способа сочетания во времени (последовательный, параллельно-последовательный, параллельный) входящих в него простых процессов (рис. 1 и 2).

В производственных условиях (см. рис. 2) простые процессы одного и того же сложного процесса изготовления сварной конструкции сочетаются во времени одновременно тремя указанными выше способами, а $T_{\text{ц. св. кон}}$ равна максимальной сумме длительностей циклов простых взаимосвязанных процессов:

$$T_{\text{ц. св. кон}} = \left(\sum_{1}^{m} T_{\text{ц}i}\right) \max,$$

где $T_{\text{ц}i}$ — длительность производственного цикла i-го простого процесса, входящего в наибольшую (максимальную) сумму длительностей циклов простых связанных между собой процессов; m — число процессов, входящих в максимальную по длительности «цепочку» циклов.

Длительность производственного цикла изготовления конструкции M определяется суммой длительности циклов по цепочке $M - У_{\text{сII}} - Д_9$ (рис. 2). Длительность производственного цикла простых процессов зависит от числа и степени одновременности протекания входящих в них операций.

При последовательном способе сочетания операций во времени длительность производственного цикла (в календарных днях)

$$T_{\text{ц. посл}} = \frac{1}{0{,}7}\left[n \sum_{1}^{m} \frac{t_{\text{к}}}{cqs} + \frac{t_{\text{м. о}}}{s} m\right] + \frac{1}{24} t_{\text{ест}},$$

где $\frac{1}{0{,}7}$ — коэффициент перевода рабочих дней в календарные (257 : 365 ≈ 0.7); m — число операций в данном процессе; n — число заготовок (деталей) в партии; $t_{\text{к}}$ — штучно-калькуляционное время, мин.; c — число единиц оборудования или рабочих мест, занятых одновременно выполнением данной операции; s — сменность работы; q — продолжительность рабочей смены; $t_{\text{м. о}}$ — длительность межоперационных перерывов в сменах; $t_{\text{ест}}$ — длительность естественных процессов, **ч.**

При параллельно-последовательном способе сочетания операций во времени длительность производственного цикла

$$T_{\text{ц. пар. посл}} = \frac{1}{0{,}7}\left[n \sum_{1}^{m} \frac{t_{\text{к}}}{cqs} - \sum_{1}^{m-1} (n-p)\left(\frac{t_{\text{к}}}{cqs}\right)_{\text{кор}} + \frac{t_{\text{м. о}}}{s} m\right] + \frac{1}{24} t_{\text{ест}},$$

где $\left(\frac{t_{\text{к}}}{cqs}\right)_{\text{кор}}$ — операционный цикл операции, наиболее короткой по длительности выполнения (из каждой пары смежных операций); p — число заготовок (деталей) в передаточной (транспортной) партии.

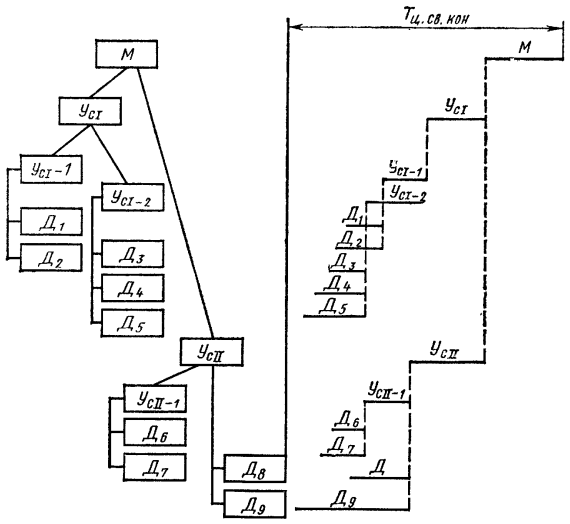


Рис. 1. Общая схема изготовления сварной конструкции M:

M — индекс сварной конструкции; $У_{сI}$, $У_{сII}$ — сварные узлы, входящие в нее; $У_{сI-1}$; $У_{сII-2}$ — сварные подузлы узла $У_{сI}$; $У_{сII-1}$ — сварной подузел узла $У_{сII}$; $Д_1$ — $Д_9$ — детали (в том числе сварные), входящие в узлы и подузлы сварной конструкции M

Рис. 2. Структура сложного процесса изготовления сварной конструкции M:

M, $У_{сI}$, $У_{сII}$, $У_{сI-1}$, $У_{сI-2}$ $У_{сII-1}$ $Д_1$—$Д_9$ — соответственно длительность циклов сборки, сварки и отделки узлов, подузлов и длительность циклов изготовления входящих в них деталей

При параллельном способе сочетания операций во времени длительность производственного цикла

$$T_{\text{ц. пар}} = \frac{1}{0{,}7}\left[(n-p)\left(\frac{t_{\text{к}}}{cqs}\right)_{\max} + \sum_{1}^{m} \frac{t_{\text{к}}}{cqs} + \frac{t_{\text{м. о}}}{s} m\right] + \frac{1}{24} t_{\text{ест}},$$

где $\left(\frac{t_к}{cqs}\right)_{max}$ — операционный цикл операции, наиболее продолжительной по длительности выполнения (из всех операций процесса).

Параллельный способ получил наибольшее применение при синхронном процессе, характеризующемся наличием следующего равенства:

$$\frac{t_{к1}}{c_1} \approx \frac{t_{к2}}{c_2} \approx \frac{t_{к3}}{c_3} \approx \ldots \approx \frac{t_{кm}}{c_m} \approx r,$$

где r — такт поточной линии. Числа от 1 до m при $t_к$ и c соответствуют порядковому номеру операций и рабочих мест поточной линии.

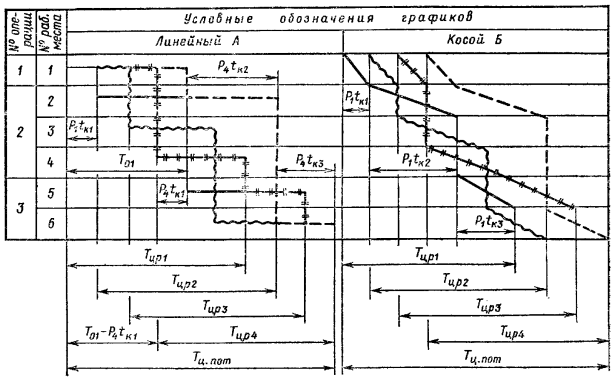


Рис. 3. Длительность производственного цикла при параллельном сочетании операций синхронного процесса (в условиях потока)

Длительность производственного цикла синхронного процесса представлена на рис. 3. Длительность цикла обработки каждой из четырех транспортных партий (p_1, p_2, p_3, p_4), на которые разделена изготовляемая партия деталей в $n_{шт}$, равна

$$T_{ц.р} = \sum_1^m pt_к = \sum_1^m prc = r\sum_1^m pc.$$

Длительность же производственного цикла изготовления партии деталей на потоке $T_{ц.пот}$ определяется по формуле

$$T_{ц.пот} = T_{ц.р_4} + T_{01} - p_4 t_{к1} = \sum_1^m p_4 t_к + \frac{nt_{к1}}{c_1} - p_4 t_{к1} = \frac{nt_{к1}}{c_1} + \sum_1^{m-1} p_4 t_к =$$

$$= nr + \sum_1^{m-1} p_n rc,$$

где $T_{ц.р_4}$ — длительность цикла обработки последней (четвертой или n-й) транспортной партии; T_{01} — операционный цикл первой операции; $p_4 t_{к1}$ — время обработки четвертой (последней) передаточной партии на первой операции.

«Косой» график (вариант Б) отличается от линейного (вариант А) только графическим приемом изображения (в виде «косых» линий) циклов обработки транспортных партий. Однако для «широких» поточных линий, когда $c > 1$, такой график наглядно показывает, на каком рабочем месте той или иной операции находится в каждый данный момент та или иная транспортная партия, что важно для рациональной организации учета и планирования производства сварных конструкций.

Длительность производственного цикла изготовления на поточной линии одной детали

$$T_{д.пот} = r\sum_1^m c.$$

Параллельный способ сочетания операций во времени при синхронном процессе (непрерывный поток) обеспечивает наименьшую длительность производственного цикла.

Каждый из рассмотренных выше способов сочетания операций во времени должен соответствовать условиям, при которых он будет наиболее целесообразным.

Последовательный способ сочетания операций (простых процессов) целесообразно применять при небольшой величине n, $t_к$ и незначительной повторяемости изготовляемых объектов.

Параллельно-последовательный способ сочетания операций (простых процессов) оправдывает себя при значительных величинах n и $t_к$ и регулярной повторяемости изготовляемых объектов.

Параллельный способ сочетания операций (простых процессов) эффективен при равенстве длительности операционных циклов (или циклов простых процессов).

Располагая данными о длительности цикла процесса производства сварных конструкций при последовательном способе сочетания входящих в него операций и величине коэффициента параллельности $k_{пар}$, можно определить

$$T_{ц.пар.посл} = T_{ц.посл} k_{пар_1};$$

$$T_{ц.пар} = T_{ц.посл} k_{пар_2}.$$

Коэффициенты параллельности $k_{пар_{1,2}}$ определяются по заводским данным о средней длительности производственных циклов сварных конструкций

$$k_{пар_1} = \frac{T_{ц.пар.посл}}{T_{ц.посл}};$$

$$k_{пар_2} = \frac{T_{ц.пар}}{T_{ц.посл}}.$$

РАЗНОВИДНОСТИ ПОТОЧНЫХ ЛИНИЙ КОМПЛЕКСНО-МЕХАНИЗИРОВАННОГО И АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА И ИХ РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ

В состав сварочного производства в разных сочетаниях и комбинациях могут входить следующие поточные линии: непрерывно-поточные, прерывно-поточные или прямоточные, однономенклатурные (массово-поточные), многономенклатур-

ные (серийно-поточные) с регламентированным и со свободным ритмом, с распределительным и рабочим конвейером.

Расчетные параметры, характерные для всех разновидностей поточных линий. Такт работы поточной линии

$$r=\frac{F_{\text{фак}}}{N},$$

где $F_{\text{фак}}$ — фактический фонд времени за определенный плановый период F (смену, сутки, месяц); N — производственная программа поточной линии за период F.

$$Q_{\text{т}}=\frac{N}{F_{\text{фак}}},$$

где $Q_{\text{т}}$ — темп работы поточной линии.

$$R=rp,$$

где R — ритм работы поточной линии.

Число транспортных партий

$$m_{\text{р}}=\frac{N}{p}.$$

Рабочий такт поточных линий с регламентированными перерывами на отдых

$$r_{\text{р}}=\frac{s\,(q_{\text{см}}-T_{\text{пер}})\,(100-a)}{N_{\text{в. сут}}100},$$

где s — принятое число смен за сутки; $q_{\text{см}}$ — продолжительность смены, мин; a — величина возможного брака в процентах к суточной программе запуска ($N_{\text{э. сут}}$); $N_{\text{в. сут}}$ — суточная программа выпуска поточной линии, т или шт; $T_{\text{пер}}$ — перерывы на отдых за смену в обычных цехах $\approx$ 20 мин, в горячих с тяжелыми условиями работы $\approx$ 40 мин.

$$N_{\text{в. сут}}=N_{\text{э. сут}}-\frac{N_{\text{э. сут}}a}{100};$$

$$N_{\text{э. сут}}=\frac{100N_{\text{в. сут}}}{100-a}.$$

Рабочий такт поточной линии без регламентированных перерывов

$$r_{\text{р1}}=\frac{sq_{\text{см}}\,(100-a)}{N_{\text{в. сут}}\cdot 100}.$$

Число рабочих мест (единиц оборудования) на каждой данной операции (на i-й операции)

$$c_{i\text{рас}}=\frac{t_i}{r},$$

где t_i — норма времени на i-ю операцию, мин.

Коэффициент загрузки оборудования на каждой операции и средний коэффициент загрузки оборудования поточной линии соответственно равны

$$\eta_i=\frac{c_{i\text{ рас}}}{c_{i\text{ фак}}};\qquad \eta_{\text{ср}}=\frac{\sum_1^m c_{i\text{ рас}}}{\sum_1^m c_{i\text{ фак}}},$$

где m — число операций на поточной линии; $c_{i\text{ фак}}$ — фактически принятое количество рабочих мест на i-й операции.

Число рабочих-операторов на i-й операции и общее число их на поточной линии соответственно равны:

$$K_{\text{р}i}=\frac{c_i s}{n_i};\quad K_{\text{р. общ}}=\left(1+\frac{b}{100}\right)\sum_1^m\frac{c_i s}{n_i},$$

где n_i — норма обслуживания на i-й операции; b — дополнительное число рабочих-операторов в % к расчетному числу их на линии.

Параметры, специфичные для поточных линий с рабочим конвейером. Длина деления или шаг l_0 рабочего конвейера равны расстоянию между осями симметрии изготовляемых объектов, расположенных на конвейере рядом.

При изготовлении небольших объектов $l_0\approx 1{,}3$ м, а крупногабаритных

$$l_0=l_{\text{д}}+l_{\text{пр}},$$

где $l_{\text{д}}$ — габаритная длина объекта; $l_{\text{пр}}\approx 250$ мм — промежуток между объектами на конвейере.

Скорость движения конвейера

$$v_{\text{р}}=\frac{l_0}{r}.$$

Наиболее рациональные величины $v_{\text{р}}\approx 0{,}3\div 2{,}0$ м/мин.

Нормальная длина зоны каждой данной (i) операции

$$L_{i\text{н}}=l_0\frac{t_i}{r}=l_0c_i,$$

где t_i; c_i — соответственно норма времени на i-ю операцию и число рабочих мест (рабочих) на этой операции.

Резервная (добавочная) длина зоны i-й операции

$$L_{i\text{ рез}}=l_0\,\Delta_i,$$

где Δ_i — число резервных делений, которое нужно добавить к $L_{i\text{ н}}$;

$$\Delta_i=\frac{t_{i\max}-t_{i\text{ ср}}}{r};\quad t_{i\text{ ср}}=\frac{t_{i\max}+t_{i\min}}{2},$$

где $t_{i\max}$; $t_{i\min}$; $t_{i\text{ ср}}$ — соответственно максимальная, минимальная и средняя продолжительность i-й операции.

Общая длина зоны i-й операции

$$L_{i\text{ общ}}=L_{i\text{ н}}+L_{i\text{ рез}}=l_0(c_i+\Delta_i).$$

Длина рабочей части конвейера

$$L_{\text{р. к}}=\sum_1^m l_0c_j+\sum_1^{m'}l_0\,(c_i+\Delta_i)=l_0\left[\sum_1^m c_j+\sum_1^{m'}(c_i+\Delta_i)\right],$$

где m; m' — соответственно число операций со стабильной продолжительностью и колебанием ее в пределах $t_{i\min}$ до $t_{i\max}$; c_j — число рабочих мест (рабочих) на j-й операций со стабильной продолжительностью.

Длительность производственного цикла изготовления объекта

$$T_{\text{ц}}=\frac{L_{\text{р. к}}}{v_{\text{р}}},$$

или

$$T_{\text{ц}}=r\sum_{1}^{m}c_i+\sum_{1}^{m'}\frac{L_{i\,\text{общ}}}{v_{\text{р}}}.$$

Число объектов, одновременно находящихся на конвейере,

$$N_{\text{к}}=\frac{T_{\text{ц}}}{r}.$$

Параметры, специфичные для поточных линий с распределительными конвейерами. Минимальная ($l_{0\,\min}$), максимальная ($l_{0\,\max}$) и рациональная (оптимальная) ($l_{0\,\text{р}}$) длина деления (шаг распределительного конвейера) равна:

$$l_{0\,\min}=l_0=l_{\text{д}}+l_{\text{пр}};$$

$$l_{0\,\max}=L_{\text{ср}},$$

где $L_{\text{ср}}$ — среднее расстояние между двумя единицами оборудования, находящимися рядом у конвейера. Рациональную длину деления $l_{0\text{р}}$ определяют в пределах между значениями $l_{0\,\min}$ и $l_{0\,\max}$ из расчета обеспечения рациональной скорости конвейера и возможности размещения на его длине требуемого числа разметочных знаков.

Скорость движения конвейера

$$v_{\text{р}}=\frac{l_{0\text{р}}}{R}=\frac{l_{0\text{р}}}{rp}.$$

Чаще применяют конвейеры со скоростью 0,5—2,5 м/мин.

Период распределительного конвейера (комплект номеров для его разметки $П$) при одинаковой производительности всех рабочих на каждой операции определяют как общее наименьшее кратное от числа рабочих мест на всех операциях поточной линии.

Длина рабочей части конвейера

$$L_{\text{р. к}}=l_{0\text{р}}Пk_{\text{пов}},$$

или

$$L_{\text{р. к}}=l_{0\text{р}}(\Sigma c_{\text{р}}+\Sigma c_{\text{кон}}),$$

где $k_{\text{пов}}$ — целое число повторений периода $П$ на рабочей части (длине) конвейера; $c_{\text{р}}$; $c_{\text{кон}}$ — число рабочих мест, на которых соответственно выполняют технологические и контрольные операции.

Страховой задел $Z_{\text{стр}}$ на каждом рабочем месте принимают равным одной—трем деталям, обработанным на данном рабочем месте.

Структура ритма $R_{\text{стр}}$ характеризуется следующей суммой затрат времени:

$$R_{\text{стр}}=t_{\text{уст}}+t_{\text{обр}}+t_{\text{сн}}+t_{\text{тр}},$$

где $t_{\text{уст}}$, $t_{\text{обр}}$, $t_{\text{сн}}$, $t_{\text{тр}}$ — соответственно время на установку, обработку, снятие и транспортировку объекта.

Длительность производственного цикла изготовления объекта

$$T_{\text{ц}}=r(\Sigma c_{\text{р}}+\Sigma c_{\text{кон}}).$$

Параметры, специфичные для стационарных (с неподвижным объектом) поточных линий. Такт работы линии

$$r_{\text{с}}\approx\frac{t_1}{K_{\text{р1}}}\approx\frac{t_2}{K_{\text{р2}}}\approx\frac{t_3}{K_{\text{р3}}}\approx\ldots\approx\frac{t_l}{K_{\text{р}l}},$$

где t_1, t_2, ..., t_l — длительность операции в мин; $K_{\text{р1}}$, $K_{\text{р2}}$, ..., $K_{\text{р}l}$ —число рабочих в бригадах, выполняющих определенные операции на стендах с переходом от одного стенда к другому через такт $r_{\text{с}}$.

Отношение $t/K_{\text{р}}$ должно быть равно одному такту; в противном случае работа линии усложняется из-за двух—трех бригад, которые будут закрепляться за операциями, в 2—3 раза превышающими по длительности величину $r_{\text{с}}$.

Длительность производственного цикла изделия

$$T_{\text{ц}}=\sum_{1}^{m}t_i\approx\sum_{1}^{m}r_ic_i,$$

где m — число операций, выполняемых на стендах линии; t_i — продолжительность i-й операции в мин; c_i — число стендов на i-й операции; обычно $c_i=1$, что упрощает организацию труда бригад.

Число одновременно изготовляемых объектов на линии

$$N_{\text{о}}=m,\ \text{или}\ N_{\text{о}}=\sum_{1}^{m}c_i.$$

Структура ритма

$$R_{\text{с}}=r_{\text{с}}=t_{\text{обр}}+t_{\text{пер}},$$

где $t_{\text{обр}}$, $t_{\text{пер}}$ — соответственно время на выполнение сборочных, сварочных и других операций и на переходы бригад от одного стенда к другому.

Параметры, специфичные для прямоточных (прерывно-поточных) линий. Период обслуживания (комплектования, $R_{\text{обс}}$) операторами-совместителями рабочих мест, закрепленных за ними, с выполнением на каждом из них определенного задания устанавливают с учетом трудоемкости операций, габаритов изготовляемых деталей и загрузки операторов-совместителей; $R_{\text{обс}}$ должен быть равен величине, кратной продолжительности рабочей смены.

Время работы недогруженных рабочих мест в течение принятого периода обслуживания

$$t_{\text{н. р. м}}=R_{\text{обс}}k_{\text{исп}},$$

где $k_{\text{исп}}$ — коэффициент использования недогруженного рабочего места, равный дробной части расчетного числа рабочих мест $c_{\text{р}}$. Если $c_{\text{р}\,i}=1{,}40$, то $k_{\text{исп}\,i_2}$ (второго рабочего места i-й операции) составит 40%.

Наибольший межоперационный оборотный задел равен разности производительностей на двух смежных несинхронных операциях поточной линии:

$$Z_{\text{об max}}=\frac{T_{\text{п}}c_1}{t_{k1}}-\frac{T_{\text{п}}c_2}{t_{k2}},$$

где $T_{\text{п}}$ — период времени одновременного выполнения двух смежных операций (первой и второй), в течение которого производительность на каждой из них — постоянная величина; c_1, c_2 — число рабочих мест на первой и второй операциях в течение $T_{\text{п}}$; t_{k1}, t_{k2} — норма времени на выполнение первой и второй операций.

Структура периода обслуживания $R_{\text{обс. с}}$ (или комплектования)

$$R_{\text{обс. с}}=t_{k3}+t_{k5}+t_{\text{пер}},$$

где t_{k3}, t_{k5} — соответственно время на выполнение закрепленных за оператором-совместителем третьей и пятой операции; $t_{\text{пер}}$ — время на переходы оператора-совместителя от третьей к пятой и от пятой к третьей операции.

Параметры, специфичные для многономенклатурных (серийно-поточных) линий. Рабочий такт поточной линии для изготовления сварных конструкций,

сходных по структуре технологического процесса, технологическим режимам и трудоемкости операций,

$$r_{\text{р. л}}=\frac{F_{\text{фак}}}{\sum_{A}^{k} N_i},$$

где $F_{\text{фак}}$ — фактический фонд времени работы линии в планируемом периоде; N_i — программное задание по i-му объекту на планируемый период; A, $Б$, ..., K — название закрепленных за линией объектов (от A до K).

Частный рабочий такт каждого объекта, закрепленного за переналаживаемой многономенклатурной поточной линией,

$$r_A=\frac{F_{\text{фак}\,A}}{N_A};\quad \ldots;\quad r_K=\frac{F_{\text{фак}\,K}}{N_K},$$

где $F_{\text{фак}\,A}$; $F_{\text{фак}\,K}$ — фактическое время загрузки линии изготовлением объектов A, K в планируемом периоде; N_A, N_K — программные задания по объектам A, K на планируемый период.

$$F_{\text{фак}\,A}=F\left(1-\frac{\eta}{100}\right)\frac{N_A\Sigma t_A}{N_A\Sigma t_A+N_Б\Sigma t_Б+N_K\Sigma t_K},$$

где N_A, $N_Б$, ..., N_K — программа заданий по объектам A, $Б$, ..., K на период F; Σt_A, $\Sigma t_Б$, ..., Σt_K — суммарное время по всем операциям процесса изготовления одного объекта каждого наименования.

При удовлетворительной синхронизации операций технологического процесса (r_A; $r_Б$; ..., r_K) частный рабочий такт

$$r_A=\frac{t_{A1}}{c_1}\approx\frac{t_{A2}}{c_2}\approx\ldots\approx\frac{t_{Am}}{c_m},$$

где t_{A1}; t_{A2}; ...; t_{Am} — норма времени соответственно на выполнение 1, 2, 3, ..., m операций; c_1, c_2, ..., c_m — принятое число рабочих мест на 1, 2, ... m операциях линии.

Рабочий такт закрепленных за линией объектов, определяемый по базовому представителю (по условному такту) r_{A6}; ...; r_{k6}:

$$r_{A.\,б}=r_{\text{усл}}k_A,$$

где $r_{\text{усл}}$ — такт наиболее типового объекта из всех закрепленных за линией, принятый за базовый представитель; k_A — коэффициент приведения трудоемкости объекта A к трудоемкости базового представителя B.

При расчете тактов объектов от A до k за базовый представитель принят объект B; тогда коэффициенты приведения трудоемкости этих объектов (k_A, $k_Б$, ..., k_K) к трудоемкости объекта B будут равны

$$k_A=\frac{Q_A}{Q_B};\quad k_Б=\frac{Q_Б}{Q_B};\quad \ldots;\quad k_K=\frac{Q_K}{Q_B},$$

где Q_A, $Q_Б$, ..., Q_K — соответственно трудоемкость изготовления объектов A $Б$ ..., K; Q_B — трудоемкость изготовления базового объекта.

Такт работы линии по базовому представителю

$$r_{\text{усл.}\,B}=\frac{F_{\text{фак}}}{\sum_{A}^{k} N_{\text{пр}\,B}}=\frac{F_{\text{фак}}}{N_Bk_A+N_Bk_Б+N_Bk_B+\ldots+N_Bk_K},$$

где $\sum_{A}^{k} N_{\text{пр.}\,B}$ — программное задание на планируемый период по объектам от A до k, приведенное к базовому представителю.

Коэффициент допустимых потерь времени на переналадку рабочего места при смене очередной партии изготовляемых объектов (η) и расчетная величина партии n определяются по формулам

$$\eta=\frac{П_{\text{ср}}}{П_{\text{ср}}+nr},$$

где $П_{\text{ср}}$ — средние потери рабочего времени на каждом рабочем месте при переналадке;

$$n=\frac{(1-\eta)\,П_{\text{ср}}}{\eta r}.$$

Условия рациональной работы многономенклатурных поточных линий:

$$\frac{t_{i1}}{c_{i1}}\approx\frac{t_{i2}}{c_{i2}}\approx\frac{t_{i3}}{c_{i3}}\approx\ldots\approx\frac{t_{im}}{c_{im}}\approx r_i;$$

$$\sum_{A}^{k} N_it_{im}=c_mp,$$

где t_{i1}, t_{i2}, ..., t_{im} — соответственно время на обработку i-го изделия на 1, ..., m операциях; c_{i1}, c_{i2}, ..., c_{im} — число единиц оборудования на рабочих местах, занятых обработкой изделия i; $\sum_{A}^{k} N_it_{im}$ — суммарная загрузка оборудования на операции m при изготовлении всех закрепленных за линией объектов; c_m — число единиц оборудования на операции m; p — пропускная способность единицы оборудования за фактическое время работы его в планируемом периоде.

Параметры, специфичные для автоматических линий. Структура ритма поточной линии со сквозной транспортировкой изготовляемого объекта

$$R_{\text{скв}}=r_{\text{техн}}+t_{\text{тр}},$$

где $t_{\text{тр}}$ — время транспортировки изготовляемого объекта с одного рабочего места к другому; $r_{\text{техн}}$ — технологическое время ритма, равное сумме машинных ($\Sigma t_{\text{маш}}$) и вспомогательных времен ($\Sigma t_{\text{всп}}$);

$$r_{\text{техн}}=\Sigma t_{\text{маш}}+\Sigma t_{\text{всп}}.$$

Структура ритма поточной линии с гибкой связью между отдельными единицами оборудования ее (с механизированными загрузочными устройствами или бункерами) характеризуется затратами машинного времени и вспомогательного ($t_{\text{тр}}$ — перекрывается этими временами):

$$R_{\text{г. с}}=r_{\text{техн}}.$$

Структура ритма поточной линии с подвесными (шагающего типа) транспортными устройствами

$$R_{\text{п}}=r_{\text{техн}}+\Sigma t_{\text{тр}},$$

где $\Sigma t_{тр}$ — суммарное неперекрываемое время транспортировки изготовляемого объекта.

Компенсирующий задел

$$Z_{ком}=T_к\left(\frac{1}{r_м}-\frac{1}{r_б}\right)=\frac{T_к\Delta}{r_м r_б},$$

где $T_к$ — период компенсации; $r_м$, $r_б$ — соответственно меньший и больший усредненный такт работы смежных участков линии; Δ — допустимая величина неравенства усредненных тактов смежных участков линии.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА УРОВЕНЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МОЩНОСТЕЙ ПОТОЧНЫХ ЛИНИЙ КОМПЛЕКСНО-МЕХАНИЗИРОВАННОГО И АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА (на примере пролетных балок)

Производственная мощность поточных линий зависит от конструктивных, технологических и организационных факторов, характеризующихся различной степенью воздействия на ее величину.

В условиях высоких темпов научно-технического прогресса задача установления совокупности факторов, в наибольшей мере влияющих на уровень использования производственных мощностей, решается с применением математических методов и ЭВМ. Важной предпосылкой использования их является наличие необходимой достоверной информации. Она должна содержать показатели уровня использования производственных мощностей поточных линий и количественную оценку определенной совокупности факторов.

Коэффициент экстенсивного использования оборудования (условное обозначение x_1)

$$k_э=\frac{F_{фак}}{F_{реж}},$$

где $F_{фак}$ — время, фактически отработанное оборудованием; $F_{реж}$ — режимный фонд времени работы оборудования.

Коэффициент интенсивного использования оборудования (условное обозначение x_2)

$$k_и=\frac{t_{маш}}{t_{о.и}},$$

где $t_{маш}$ — машинное время работы оборудования; $t_{о.и}$ — общее время использования оборудования при изготовлении сварного изделия.

Коэффициент технологичности (условное обозначение x_3)

$$k_{техн}=\sum_1^m\left(1-\frac{t_п}{t_д}\right),$$

где $t_д$, $t_п$ — соответственно трудоемкость операций до и после повышения уровня технологичности; m — число выполненных мероприятий по повышению технологичности сварной конструкции и ее элементов.

Коэффициент прогрессивности применяемых норм времени (условное обозначение x_4)

$$k_{п.н}=\frac{\sum_1^n N_i t_{iп}}{\sum_1^n N_i t_{i.ф}},$$

где $t_{iп}$, $t_{iф}$ — соответственно прогрессивные и фактически применяемые нормы времени; N_i — число балок i-го типоразмера; n — число типоразмеров пролетных балок.

Коэффициент плотности производственного цикла (условное обозначение x_5)

$$k_п=\frac{T_{техн}}{T_{пр}},$$

где $T_{тех}$, $T_{пр}$ — соответственно длительность технологического и производственного циклов изготовляемой сварной конструкции.

Коэффициент прогрессивности технологического процесса (условное обозначение x_6)

$$k_{п.т}=\frac{T_и-T_э}{T_и},$$

где $T_и$, $T_э$ — соответственно трудоемкость годовой программы при применении имеющихся в данный момент технологических процессов и запланированных прогрессивных для созданных поточных линий.

Коэффициент сменности (условное обозначение x_7)

$$k_{см}=\frac{c_1F_1+c_2F_2+c_3F_3}{c_{бал}F_{см}s},$$

где $c_{бал}$, c_1, c_2, c_3 — соответственно общее число единиц оборудования, находящегося на балансе и используемого в I, II и III смены); F_1, F_2, F_3, $F_{см}$ — соответственно число часов, фактически отработанных оборудованием в каждую смену, и запланированный сменный фонд работы оборудования; s — число смен в течение рабочего дня.

Коэффициент затрат, связанных с работой оборудования (условное обозначение x_8):

$$k_{з.р}=\frac{C_{р.о}}{C_{г.в}}=\frac{З_{т.р}+З_э+З_а}{C_{г.в}},$$

где $C_{р.о}$ — затраты, связанные с работой оборудования линий; $C_{г.в}$ — себестоимость годового выпуска пролетных балок; $З_{тр}$ — затраты на текущий ремонт, приходящиеся на 1 год работы оборудования; $З_э$ — затраты на электроэнергию, приходящиеся на 1 год работы оборудования; $З_а$ — амортизационные отчисления.

Затраты на текущий ремонт

$$З_{т.р}=\frac{\sum_1^n (R\omega k_э+k_м)c_{об}k_з}{T_{р.ц}k_у},$$

где n — число типоразмеров оборудования определенной категории сложности ремонта; R — категория сложности ремонта основной части оборудования соответствующего типоразмера; $T_{р.ц}$ — длительность ремонтного цикла; $k_э$ — коэффициент, учитывающий затраты на ремонт энергетической части оборудования;

$k_м$ — затраты на модернизацию оборудования; $c_{об}$ — число единиц оборудования соответствующего типоразмера; $k_з$ — коэффициент занятости оборудования; $k_у$ — коэффициент, учитывающий тип производства, условия работы и т. п.; ω — затраты на единицу ремонтной сложности за $T_{р.ц}$.

Годовые затраты на электроэнергию

$$З_э = \sum_1^n \frac{N_{с.э} k_{з.\omega} k_{о.р} k_\omega F_{фак} c_{об} Ц_{эл}}{КПД},$$

где $N_{с.э}$ — суммарный расход электроэнергии электродвигателями единицы оборудования за 1 ч работы линии; $k_{з\omega}$ — коэффициент загрузки электродвигателей по мощности; $k_{о.р}$ — коэффициент одновременности работы электродвигателей; k_ω — коэффициент потерь электроэнергии в сети завода; КПД — коэффициент полезного действия электродвигателей; $Ц_{эл}$ — стоимость 1 кВт·ч электроэнергии; n — число типоразмеров оборудования, потребляющего электроэнергию.

Годовые амортизационные отчисления

$$З_а = \sum_1^n K_{бал\,i} K_{з\,i} H_{а\,i} c_{об\,i},$$

где $K_{бал\,i}$ — балансовая стоимость единицы i-го оборудования поточной линии; $H_{а\,i}$ — норма годовых амортизационных отчислений по i-му оборудованию;

$$K_{бал\,i} = Ц_{о\,i} + З_{т.м\,i},$$

где $Ц_{oi}$ — оптово-отпускная цена i-го оборудования; $З_{т.мi}$ — затраты на транспортировку и монтаж i-го оборудования.

Коэффициент выполнения норм времени (условное обозначение x_9)

$$K_{в.ц} = 1 - \frac{A}{Л},$$

где $A = \frac{\sqrt{M_1 (Л_1 - Л)^2 + \ldots + M_3 (Л_3 - Л)^2}}{M_1 + \ldots + M_3}$; $Л$ — средний процент выполнения норм по рабочим местам; $Л_1$, ..., $Л_3$ — число рабочих, выполняющих нормы по $Л_1$, ..., $Л_3$ процентов; M_1, ..., M_3 — распределение рабочих мест по уровню выполнения норм.

Коэффициент межоперационных заделов (условное обозначение x_{10}):

$$Z_{м.о} = \frac{Z_{ср.норм} - Z_{ср.фак}}{Z_{ср.норм}},$$

где $Z_{ср.норм}$ — средний нормативный задел; $Z_{ср.фак}$ — средний фактический задел.

Метод корреляционного анализа, включающий определение коэффициентов парной $r_п$ и множественной корреляции $R_м$, позволяет установить степень влияния каждого из приведенных выше десяти факторов и выделить из них решающие.

$$r_п = \frac{n\Sigma xy - \Sigma x \Sigma y}{\sqrt{n\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2} \cdot \sqrt{n\Sigma y^2 - (\Sigma y)^2}} = \frac{\overline{yx} - \bar{y}\bar{x}}{\sigma_x \sigma_y},$$

где n — объем исследуемой совокупности; Σx, Σy; Σxy, Σx^2, Σy^2 — статистические моменты; x — факторы-аргументы; y — значение функций (зависимая переменная — производственная мощность); σ_x, σ_y — средние квадратические

отклонения, характеризующие разброс значений аргумента и функции (колеблемость) относительно их математического ожидания.

$$R_м = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}},$$

где y_i, $\hat{y}_i$, $\bar{y}$ — соответственно фактическое, расчетное и среднее значение переменной.

Расчеты на ЭВМ позволяют получить следующее уравнение множественной регрессии:

$$y = A_0 + A_1 x_1 + A_2 x_2 + A_4 x_4 + A_5 x_5 + A_6 x_6 + A_8 x_8 + A_9 x_9 + A_{10} x_{10}. \quad (1)$$

Установлено, что линейная форма связи между совокупностью аргументов и функцией достаточно близко описывает и правильно отражает статистическую связь между производственной мощностью поточных линий и совокупностью рассматриваемых факторов:

$$y = -60{,}02 + 0{,}215x_1 + 0{,}720x_2 - 0{,}361x_4 + 0{,}276x_5 + 0{,}311x_6 - 0{,}183x_8 + 0{,}137x_9 + 0{,}077x_{10}.$$

Коэффициент множественной корреляции в этом случае $R_м = 0{,}712$. Рассмотрение уравнения (1) имеет смысл при совокупности тех значений x_1, x_2, x_4, x_5, x_6, x_8, x_9, x_{10}, при которых $y \geqslant 0$.

Используя частные коэффициенты детерминации и другие данные, определяют весовое влияние каждого фактора:

Факторы	x_2	x_9	x_6	x_4	x_1	x_5	x_{10}	x_8
Доля влияния отдельных факторов, %	26,4	21,4	19,7	16,3	12,3	3,0	0,2	0,2

Следовательно, к числу решающих факторов увеличения производственных мощностей относятся x_2, x_9, x_6 и x_4. С помощью этих факторов мощность линий может быть увеличена в 2—2,5 раза. Конкретизация факторов на примере линий пролетных балок и схем оптимизации производственных мощностей их приведена на рис. 4. Изменение технологической себестоимости балок, интенсивность влияния увеличения выпуска их на снижение себестоимости и на потери от простоя поточных линий характеризуют рис. 5—7.

Характер изменения технологической себестоимости c (рис. 5) с ростом выпуска пролетных балок аппроксимирован в интервале изменения x от 1400 до 6400 шт.

Экспериментальная кривая $c = f(x)$ имеет вид

$$c = a + bx^{\gamma}.$$

Отклонения табличных данных от экспериментальной кривой не превышают 1, 3, т. е. точность расчета близка к точности расчета себестоимости по статьям затрат.

Для определения интенсивности влияния увеличения x на снижение технологической себестоимости c (см. рис. 6) рассчитывают первую производную для каждого из трех вариантов технологических процессов $\frac{dc_1}{dx}; \frac{dc_2}{dx}; \frac{dc_3}{dx}$. Установлено, что c снижается при изменении x от 1400 до 2400 балок в 19 раз больше, чем при изменении x от 5400 до 6400 балок в год.

Потери от недоиспользования поточных линий (см. рис. 7, соответственно кривые 1—3): $y_1 = 12{,}97 + 0{,}002\,x$; $y_2 = 12{,}15 + 0{,}0015\,x$; $y_3 = 12{,}00 + 0{,}0014\,x$.

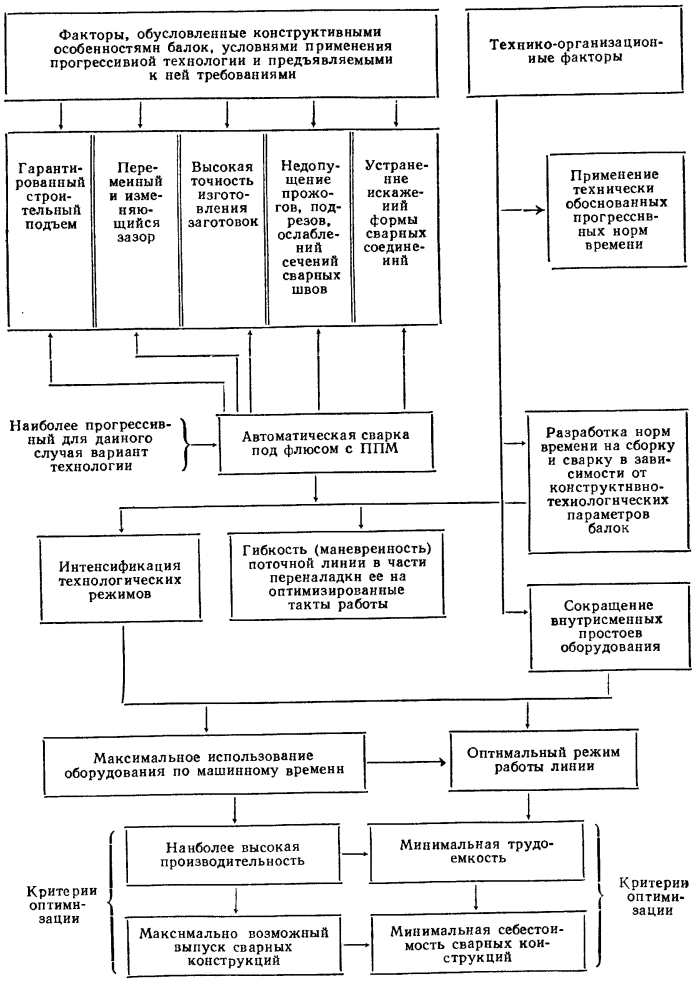


Рис. 4. Принципиальная схема оптимизации производственной мощности поточных линий (на примере пролетных балок)

Выбор оптимальной производственной мощности поточных линий должен заканчиваться минимизацией приведенных затрат и расчетом сравнительной экономической эффективности.

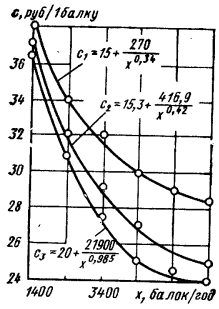


Рис. 5. Влияние выпуска X пролетных балок на их технологическую себестоимость c; c_1 — c_3 — соответственно себестоимость изготовления балок по трем возможным вариантам

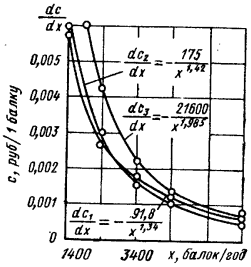


Рис. 6. Интенсивность влияния выпуска X пролетных балок на технологическую себестоимость

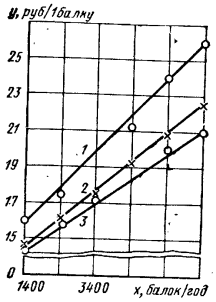


Рис. 7. Влияние потерь средств от недоиспользования мощности поточных линий на выпуск пролетных балок:

1) $y_1 = 1297 + 0{,}002x$;
2) $y_2 = 1215 + 0{,}0015x$;
3) $y_3 = 1200 + 0{,}0014x$

С помощью изложенного метода установлено, что наиболее благоприятные экономические показатели достигаются при применении третьего варианта технологического процесса и выпуска поточной линией от 1400 до 5400 балок в год.

ОПТИМИЗАЦИЯ МОЩНОСТЕЙ ПОТОЧНЫХ ЛИНИЙ ПО ЧАСТНЫМ КРИТЕРИЯМ

Оптимизацию производственной мощности поточных линий рассмотрим в зависимости от трудоемкости изготовления изделий (пролетных балок) и такта r.

Условный расчетный такт работы поточной линии при закреплении за ней разнотипных, но сходных по технологии изготовления пролетных балок,

$$r = \frac{F_{\text{фак}}}{N_B K_A + N_B K_B + \ldots + N_B K_K},$$

где $F_{\text{фак}}$ — фактический фонд времени работы линии; N_B — выпуск пролетной балки, принятой за типовой представитель (условную единицу); K_A, K_B, ..., K_K — коэффициенты приведения трудоемкости закрепленных за линией пролетных балок к трудоемкости базового представителя (балки B);

$$K_A = \frac{Q_A}{Q_B};\quad K_B = \frac{Q_B}{Q_B};\quad \ldots;\quad K_K = \frac{Q_K}{Q_B},$$

где $Q_А$, ..., $Q_К$ — трудоемкость изготовления пролетных балок соответственно типоразмера *А*, *Б*, *В*, ..., *К*; $Q_В$ — трудоемкость изготовления пролетной балки типоразмера *В*, принятой за типовой представитель.

При указанном такте линией выполняется предусмотренное программное задание, но не достигается полная загрузка рабочих мест и использование мощности оборудования. Недогрузка рабочих мест и недоиспользование оборудования по мощности уменьшаются по мере приближения $K_А$, $K_Б$, ..., $K_К$ к коэффициенту $K_В = 1$.

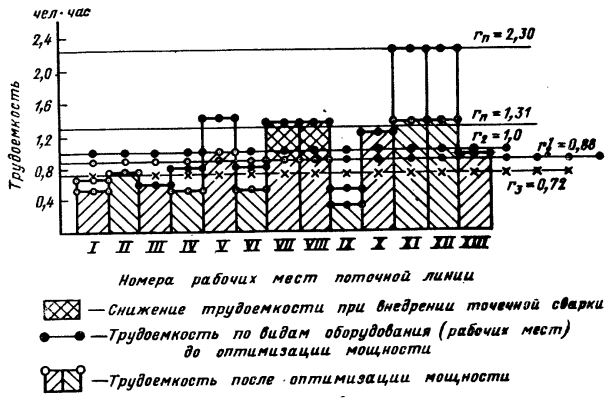


Рис. 8. Трудоемкость операций и такт поточной линии

При проектировании поточных линий нередко за типовой представитель принимают изделие (деталь, узел) с наиболее трудоемкими операциями (рис. 8). Проектный такт линии $r_п$, равный 2,3 мин, соответствует продолжительности наиболее трудоемких операций, выполняемых на *XI* и *XII* рабочих местах. Изготовление пролетных балок на линии с этим тактом характеризуется наличием простоев оборудования на всех остальных 11 рабочих местах. Попытки устранить простои оборудования и связанные с ними потери мощности за счет параллельных рабочих мест на более трудоемких операциях оказались экономически нецелесообразными ввиду потребности больших площадей для размещения крупногабаритных узлов и значительных трудностей в организации производства.

Наиболее целесообразным путем устранения указанных выше недостатков является периодическая оптимизация такта работы линии, т. е. ужесточение его по мере внедрения передовых достижений в производство сварных конструкций.

Применительно к поточным линиям пролетных балок мостовых кранов установлена следующая последовательность оптимизации такта:

$$r_п \rightarrow r_1 \rightarrow r_2 \rightarrow r_3.$$

Приварка диафрагм точечной сваркой (VII, VIII рабочие места) и применение сварки с ППМ (порошковым присадочным материалом) для выполнения угловых поясных швов (XI, XII рабочие места) позволяют перейти от работы с проектным тактом $r_п = 2,3$ ч к работе с тактом $r_1 = 1,31$ ч. При этом разница

в длительности операций уменьшилась для $t_{опер} < r_1$ примерно в 2 раза и для $t_{опер} > r_1$ в 1,3 раза.

Разработка и внедрение прогрессивных норм времени выполнения сборочно-сварочных работ позволяют организовать работу линии с тактом $r_2 = 1,0 \div 0,88$ ч (на рис. 8 $r_2 = 1,0$ ч; $r'_2 = 0,88$ ч), а применение сварки с ППМ — соответственно с тактом $r_3 = 0,72$ ч. В результате мощность поточных линий увеличивается примерно в 2 раза, возрастает доля технологического цикла в длительности производственного цикла изготовления балок и в 2,4 раза сокращается время их межоперационного пролеживания (рис. 9).

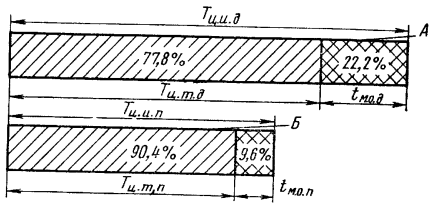


Рис. 9. Структура цикла изготовления пролетных балок: *А* — до и *Б* — после оптимизации мощности поточных линий

Цикл изготовления балок:

до оптимизации мощности поточных линий $T_{ц.и.д} = T_{ц.т.д} + t_{м.о.д}$;

после оптимизации $T_{ц.и.п} = T_{ц.т.п} + t_{м.оп}$, где $T_{ц.и.д}$; $T_{ц.и.п}$ — соответственно цикл изготовления балок до и после оптимизации мощности поточных линий; $T_{ц.т.д}$; $T_{ц.т.п}$ — соответственно технологический цикл до и после оптимизации мощности поточных линий; $t_{м.о.д}$; $t_{м.о.п}$ — соответственно межоперационное время до и после оптимизации мощности поточных линий.

РАСЧЕТ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МОЩНОСТЕЙ СВАРОЧНЫХ ЦЕХОВ

Производственная мощность сварочного цеха — это максимально возможный годовой выпуск сварных конструкций при полном использовании всего наличного парка оборудования и производственных площадей, применении передовых технологических процессов, прогрессивных технических норм, научной организации труда и производства, внедрении передового опыта и мобилизации имеющихся резервов производства. Различают проектную, плановую, достигнутую и среднегодовую производственную мощность.

Проектная производственная мощность — заранее заданный выпуск сварных конструкций проектируемому цеху из расчета минимально необходимых для него средств производства и рабочей силы, методов организации производства и прогрессивных технических норм.

Плановая производственная мощность — выпуск сварных конструкций, устанавливаемый сварочному цеху на определенный период (дату) с учетом не только имеющихся в его распоряжении средств производства и достигнутых прогрессивных нормативов, но и того прироста мощностей, который должен быть получен в результате внедрения намеченных организационно-технических мероприятий.

Достигнутая производственная мощность — мощность сварочного цеха на определенную дату текущего периода, обусловленная имеющимися на эту дату средствами производства, применяемыми прогрессивными нормами трудоемкости, достигнутой производительностью оборудования и т. д.

Показатель среднегодовой мощности используют для установления сварочным цехам годовой производственной программы, а также для сравнительного анализа годового выпуска продукции и уровня использования производственных мощностей:

$$M_{\text{ср. год}} = M_{\text{вход}} + M_{\text{ср. год. пр}} - M_{\text{ср. год. выб}},$$

где $M_{\text{вход}}$ — входная мощность; $M_{\text{ср. год. выб}}$ — среднегодовое выбытие мощности.

Среднегодовой прирост мощности

$$M_{\text{ср. год. пр}} = \frac{M_{\text{в1}}F_1 + M_{\text{в2}}F_2 + \ldots + M_{\text{вл}}F_n}{12},$$

где $M_{\text{в1}}$, $M_{\text{в2}}$, ..., $M_{\text{вл}}$ — мощности сварочного цеха, введенные на определенную дату планируемого года; F_1, F_2, ..., F_n — периоды времени с момента введения мощностей до конца текущего года в месяцах.

Коэффициент использования производственной мощности

$$k_{\text{исп. м}} = \frac{N_{\text{фак. вып}}}{N_{\text{ср. год}}},$$

где $N_{\text{фак вып}}$ — фактический выпуск сварных конструкций.

Производственная мощность сварочного цеха может быть определена по мощности ведущих групп оборудования или ведущего участка:

$$M_{\text{в. о}} = \frac{F_{\text{фак}}c}{t_{\text{п. н}}},$$

где $F_{\text{фак}}$ — фактический (эффективный) фонд времени работы единицы оборудования на определенный планируемый период; c — число единиц оборудования, входящего в указанную группу; $t_{\text{п. н}}$ — прогрессивная норма трудоемкости изготовления единицы (тонны) сварных конструкций.

При изготовлении сварочным цехом сварных конструкций нескольких наименований мощность группы оборудования

$$M'_{\text{в. о}} = \frac{F_{\text{фак}}c}{t_{\text{усл}}},$$

где $t_{\text{усл}}$ — условная (или средневзвешенная) трудоемкость единицы сварной конструкции.

Производственная мощность по площади ведущего участка, предназначенного для изготовления сварных конструкций широкой номенклатуры,

$$M_{\text{уч}} = \frac{F_{\text{фак}}F_{\text{пл}}}{\sum_1^m f_i T_{\text{ц}i} N_i},$$

где $F_{\text{пл}}$ — производственная площадь участка, м²; f_i — площадь, необходимая для изготовления сварной конструкции i-го наименования соответствующей массы, м²/т; $T_{\text{ц}i}$ — длительность производственного цикла изготовления сварной конструкции i-го наименования, ч; N_i — число изготовляемых сварных конструкций i-го наименования.

В заводской практике производственную мощность сварочного цеха (участка, пролета) нередко рассчитывают укрупненным методом исходя из объема производства сварных конструкций (в тоннах), достигнутого в отчетном периоде:

$$M_{\text{отч}} = N_{\text{дост}}F_{\text{пл}}F_{\text{п}},$$

где $N_{\text{дост}}$ — достигнутый часовой выпуск сварных конструкций с 1 м² производственной площади в отчетном периоде, т; $F_{\text{п}}$ — рассматриваемый период работы цеха (месяц, квартал); $F_{\text{пл}}$ — производственная площадь цеха, фактически используемая при производстве сварных конструкций, м².

Ориентировочно объем производства сварных конструкций в планируемом периоде

$$M_{\text{пл}} = \frac{N_{\text{дост}}t_{\text{отч}}}{t_{\text{п}}\gamma\alpha},$$

более точно

$$M_{\text{пл}} = \frac{N_{\text{дост}}t_{\text{отч}}k_{\text{упл}}k_{\text{пот}}}{t_{\text{п}}\gamma\alpha}F_{\text{пл}},$$

где $k_{\text{упл}}$ — коэффициент возможного уплотнения производственных площадей цеха (участка, пролета) производственными рабочими; $k_{\text{пот}}$ — коэффициент, учитывающий потери рабочего времени в отчетном периоде (по данным сварочных цехов); $t_{\text{п}}$ — запланированная трудоемкость 1 т сварных конструкций, нормочасы; γ — коэффициент увеличения $t_{\text{п}}$ за счет дополнительных затрат времени, возникающих в процессе производства из-за изменений в номенклатуре изготовляемых сварных конструкций, их конструктивных и технологических различий, неточностей в определении трудоемкости и т. д.; α — коэффициент снижения трудоемкости в планируемом периоде в результате внедрения организационно-технических мероприятий.

Коэффициент возможного уплотнения производственных площадей

$$k_{\text{упл}} = \frac{k_{\text{раб. пл}}F_{\text{пл. отч}}}{k_{\text{раб. отч}}F_{\text{пл. пл}}},$$

где $k_{\text{раб. пл}}$; $k_{\text{раб. отч}}$ — число основных производственных рабочих соответственно в планируемом и отчетном периодах; $F_{\text{пл. отч}}$; $F_{\text{пл. пл}}$ — площади, занятые в процессе производства сварных конструкций в отчетном и планируемом периодах.

Коэффициенты увеличения и снижения трудоемкости равны:

$$\gamma = \frac{t_{\text{п}}t_{\text{доп}}}{t_{\text{п}}}; \quad \alpha = \frac{t_{\text{п}} - t_{\text{сниж}}}{t_{\text{п}}},$$

где $t_{\text{доп}}$ — дополнительные затраты времени в единичном и мелкосерийном производстве; $t_{\text{сниж}}$ — экономия времени, достигаемая в результате внедрения организационно-технических мероприятий.

Величины $t_{\text{доп}}$ и $t_{\text{сниж}}$ определяют по заводским данным с учетом особенностей сварочного производства.

ПРЕМИРОВАНИЕ РАБОТНИКОВ СВАРОЧНЫХ ЦЕХОВ ЗА ОСВОЕНИЕ ПРОЕКТНЫХ МОЩНОСТЕЙ

Прирост прибыли от досрочного освоения проектных мощностей

$$П_{\text{п. м}} = (c_{\text{пр}} - c_{\text{ф}})\frac{M_{\text{г}}k_{\text{д. у}}}{T_{\text{ф}}}(T_{\text{н}} - T_{\text{ф}}),$$

где $c_{\text{пр}}$; $c_{\text{ф}}$ — соответственно проектная и фактическая себестоимость единицы сварной конструкции; $M_{\text{г}}$ — годовая проектная мощность заготовительного, обрабатывающего и сборочно-сварочного оборудования (участка, пролета, поточной линии); $k_{\text{д. у}}$ — коэффициент, учитывающий достигнутый уровень производства сварных конструкций; $T_{\text{н}}$, $T_{\text{ф}}$ — соответственно нормативный и фактический срок освоения проектной мощности.

При необходимости дополнительных капитальных вложений в период освоения мощностей $k_д$ возможная годовая экономия

$$Э_в = П_{п.м} - E_н k_д,$$

где $E_н = 0{,}15$ — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений.

Премия работникам за освоение проектной мощности устанавливается в процентах к месячному фонду заработной платы (по тарифным ставкам и должностным окладам).

При достижении уровня освоения проектной мощности 61—80% премия устанавливается в размере 1—2,5% месячного фонда заработной платы, при 81—90% ≈ 2,5—5% и при 91—100% ≈ 5—8%.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НОРМЫ ВРЕМЕНИ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Под технически обоснованной нормой времени понимается установленное для определенных организационно-технических условий время на выполнение заданной работы исходя из рационального использования средств производства и с учетом передового производственного опыта. Научно обоснованные нормы времени являются основой правильного разделения и кооперирования труда, организации и обслуживания рабочих мест, проектирования передовых методов труда, оценки его эффективности и организации систем материального стимулирования.

Величина, обратная норме времени, называется нормой выработки (число стыков, погонная длина шва, число сварных деталей, узлов в единицу времени). Техническая норма оборудования — это оптимальная для определенных условий производства его эксплуатационная отдача.

Технические нормы времени (нормы выработки) устанавливают в соответствии с техническими нормами оборудования, указанными в его паспорте. Составными частями технически обоснованной нормы времени являются подготовительно-заключительное время $t_{п.з}$, основное время $t_о$, вспомогательное время $t_в$, время на обслуживание рабочего места $t_{обс}$, время на отдых и личные надобности (время регламентированных перерывов в работе) $t_п$.

Сумма основного (технологического) и вспомогательного неперекрываемого времени $t_{в.н}$ называется оперативным временем:

$$t_{опер} = t_о + t_{в.н}.$$

Норма штучного времени при изготовлении одинаковых сварных конструкций (массовое и крупносерийное производство)

$$t_{шт} = t_о + t_{в.н} + t_{обс} + t_п$$

или

$$t_{шт} = t_{опер}\left(1 + \frac{a+б}{100}\right),$$

где a, $б$ — соответственно проценты, которые составляют $t_{обс}$ и $t_п$ от оперативного времени.

В условиях единичного и серийного производства сварных конструкций норма времени определяется с учетом подготовительно-заключительного времени и называется штучно-калькуляционным:

$$t_{шт.к} = t_{шт} + \frac{t_{п.з}}{n},$$

где n — изготовляемая партия сварных деталей (стыков, участков шва).

Норма времени на партию

$$t_{пар} = t_{шт} n + t_{п.з}.$$

Исходным объектом нормирования при определении основного времени на сварку является участок прямолинейного шва, выполненного в нижнем положении. Поэтому $t_о$ должно уточняться исходя из вида, положения и протяженности швов изготовляемого сварного изделия.

Для уточнения основного времени на сварку вводят поправочные коэффициенты $k_п$ (табл. 1).

1. Поправочные коэффициенты

Характер отклонений от исходного объекта нормирования	$k_п$	Характер отклонений от исходного объекта нормирования	$k_п$
Положение сварных швов:		горизонтальными неповоротными	1,1
нижнее	1	поворотными	0,85
вертикальное	1,25	Сварка и резка:	
горизонтальное	1,3	в стационарных условиях, на сварочной площадке	1
потолочное	1,6	непосредственно на монтаже (строительном участке) с переходами и перемещениями аппаратуры	1,1
Сварные швы:		на подвесных устройствах (люльках)	1,5
продольные с поворотом изделия	1	с подмостей и лестниц	1,2
кольцевые с поворотом изделия	1,1	в неудобном согнутом положении и при выполнении работ лежа	1,25
кольцевые без поворота изделия	1,35		
Длина сварных швов, мм:			
200—500	1,1		
до 200	1,2		
Сварка труб диаметром до 2 м со стыками:			
неповоротными вертикальными	1		

МЕТОДЫ ТЕХНИЧЕСКОГО НОРМИРОВАНИЯ

Прогрессивным целям технического нормирования отвечают следующие методы установления технически обоснованных норм времени: 1) сравнения и расчета по типовым нормам (сравнительно-расчетный метод); 2) технического расчета норм времени по нормативам (аналитически-расчетный метод); 3) расчета норм на основе изучения затрат рабочего времени наблюдением (аналитически-исследовательский, экспериментальный метод). В первом случае нормируемая работа (операция) подразделяется на укрупненные элементы, которые сопоставляются с продолжительностью таких же элементов аналогичной операции. При сравнении используются типовые нормы времени на элементы работы (операции), графики и номограммы. Применяется этот метод нормирования в единичном и мелкосерийном производстве. Во втором случае проектируются рациональная структура и последовательность выполнения элементов нормируемой операции, а затем на основе ранее разработанных нормативов рассчитываются затраты времени на отдельные элементы и операцию (работу) в целом. Этот метод нормирования применяется преимущественно в серийном и крупносерийном производстве. В третьем случае, как и во втором, устанавливаются рациональная структура и последовательность выполнения элементов нормируемой операции, определяются затраты времени на отдельные элементы и операцию (работу) в целом. Отличие состоит в использовании при этом методе нормирования более точных данных по затратам времени, полученных с помощью хронометража и фотографии рабочего дня.

Расчеты технических норм на основе изучения затрат рабочего времени наблюдением в сочетании со специальными исследованиями операций непосредственно в производственных условиях позволяют осуществлять более точное нормирование. Однако этот метод нормирования связан со значительными затратами времени на его осуществление и поэтому целесообразен в массовом и крупносерийном производстве.

НОРМИРОВАНИЕ РУЧНОЙ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКИ

Основное время или время образования сварного шва путем наплавления электродного металла, т. е. время горения дуги в часах,

$$t_o = \frac{Fl\gamma}{J\alpha_н}; \quad (2)$$

в минутах

$$t_o = \frac{60Fl\gamma}{J\alpha_н}, \quad (3)$$

где F — площадь поперечного сечения наплавленного металла шва, мм²; l — длина шва, м; γ — плотность наплавленного металла, г/см³; J — сила сварочного тока, А; $\alpha_н$ — коэффициент наплавки, г/(А·ч); $Fl\gamma$ — масса наплавленного металла шва, г.

Масса наплавленного металла шва

$$G = \alpha_н J t, \quad (4)$$

где t — время горения дуги, ч.

Площадь поперечного сечения F (которое существенно зависит от вида сварки) может быть определена по заводским данным и расчетом как сумма площадей треугольников, прямоугольников и других элементарных геометрических фигур, на которые разбивается сечение наплавленного металла. Плотность наплавленного металла шва принимается равной плотности основного металла.

Сила тока при ручной дуговой сварке устанавливается в зависимости от марки и диаметра электрода, толщины металла, вида шва и положения шва при сварке.

Коэффициент $\alpha_н$ зависит от рода сварочного тока, его полярности и плотности, от свойств электродной проволоки и покрытий, а также марки флюса:

$$\alpha_н = \frac{G}{tJ}.$$

Для ручной дуговой сварки значения t_o по каждой марке электрода указываются в паспортах электродов.

При многопроходной сварке основное время (на погонную длину шва 1 м)

$$t_o = 60\gamma\left(\frac{F_1}{J_1\alpha_{н1}} + \frac{F_2}{J_2\alpha_{н2}} + \ldots + \frac{F_n}{J_n\alpha_{нn}}\right),$$

где F_1, F_2, ..., F_n — площадь поперечного сечения шва при первом и всех последующих проходах, мм²; J_1, J_2, ..., J_n — сила тока при первом и всех последующих проходах, А; $\alpha_{н1}$, $\alpha_{н2}$, ..., $\alpha_{нn}$ — коэффициент наплавки при первом и всех последующих проходах, г/(А·ч).

Основное время сварки шва погонной длиной 1 м при однопроходной сварке

$$t_o = \frac{60\gamma E}{J\alpha_н}.$$

Вспомогательное время делится на время, связанное с выполнением свариваемых швов (время на смену электродов, осмотр и очистку кромок свариваемых элементов, очистку швов от шлака и брызг расплавленного металла, измерение и клеймение швов и т. д.), и на время, связанное со сварным изделием (время на установку, повороты, закрепление и снятие его, перемещение сварщика с инструментом и т. д.).

Время на смену электродов

$$t_э = t_{э1}\frac{F}{V_{эф}},$$

где $t_{э1}$ — время на смену одного электрода, мин; $V_{эф}$ — эффективный объем одного электрода, см³.

Время на измерение и осмотр шва определяется умножением длины шва на 0,35 для нижнего, вертикального и горизонтального шва и на 0,5 для потолочного шва. Время на зачистку швов и кромок

$$t_э = l\,[0{,}6 + 1{,}2\,(n_c - 1)], \quad (5)$$

где l — длина шва, м; n_c — число слоев.

Время на очистку промежуточного слоя составляет 1,2 мин на погонную длину шва 1 м; время на очистку погонной длины последнего слоя шва 1 м равно 0,6 мин. При применении пневматического зубила для очистки швов время, рассчитанное по формуле (5), необходимо умножить на поправочный коэффициент, равный 0,6.

Время на установку, поворот и снятие деталей зависит от их массы. При массе деталей до 25 кг эти операции выполняют вручную, а при массе деталей больше 25 кг — с помощью крана.

Время на установку клейма принимают равным 0,03 мин на 1 знак. Время на переходы сварщика устанавливают на основе хронометража. Ориентировочно время на один переход при свободном переходе длиной 2—10 м равно 0,11—0,3 мин а при затрудненном переходе длиной 2—6 м — соответственно 0,31—0,60 мин.

Время обслуживания рабочего места при ручной дуговой сварке составляет в среднем 3—5% оперативного времени.

Время на отдых и личные надобности при ручной сварке может быть принято в среднем 5—15% оперативного времени (дифференцированно значения этого времени приведены в трудах ЦБПНТ). При сварке в удобном положении оно составляет 5—7%, в неудобном положении ~ 9% и в напряженном положении ~ 13% от $t_{опер}$. При выполнении сварки в закрытых сосудах сечением 0,75 м² с одним и двумя днищами указанное время принимают 15% от $t_{опер}$.

Удобное положение — шов находится не выше уровня груди сварщика, работа выполняется при нормальном освещении, хорошем доступе воздуха, в положении сидя или стоя около свариваемого изделия.

Неудобное положение — шов находится выше уровня груди сварщика или расположен в труднодоступном месте; сварщик выполняет его в согнутом положении.

Напряженное положение — сварка швов производится на значительной высоте или в согнутом положении при плохом доступе воздуха и недостаточном теплоотводе.

Подготовительно-заключительное время в серийном производстве принимается 2—4% от оперативного времени. В единичном производстве подготовительно-заключительное время значительно и колеблется в широком интервале. Фактическая величина его может быть определена с учетом нормативов [10, 11, 14, 15].

Норма штучного времени на дуговую электросварку

$$t_{шт} = [(t_o + t_{в1})\,l + t_{в2}]\,k_1,$$

где $t_{в1}$ — вспомогательное время, зависящее от длины шва, мин; l — длина шва, м; $t_{в2}$ — вспомогательное время, зависящее от сварной конструкции и типа оборудования, мин; $k_1 = 1{,}11 \div 1{,}27$ — коэффициент, учитывающий время на обслуживание рабочего места, отдых и личные надобности.

НОРМИРОВАНИЕ ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКОЙ И АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ ПОД ФЛЮСОМ

Основное время определяется по формулам (2) и (3). Для сварки однопроходных швов при заданной скорости сварки

$$t_o = \frac{60 l_{оп}}{v_{св}}, \quad (6)$$

или

$$t_o = \frac{60}{v_{св}}, \quad (7)$$

где $l_{оп}$ — протяженность швов данного размера в узле, свариваемых за операцию, м; $v_{св}$ — скорость сварки шва данного размера, м/ч.

Для многопроходных швов основное время

$$t_o = 60\left(\frac{1}{v_{св1}} + \frac{1}{v_{св2}} + \ldots + \frac{1}{v_{св\,n}}\right),$$

где $v_{св1}$, $v_{св2}$, ..., $v_{св\,n}$ — скорость сварки на соответствующем проходе, м/ч.

Скорость подачи электродной проволоки

$$v_э = \frac{4 J \alpha_п}{\pi d^2 \gamma}, \quad (8)$$

где $\alpha_п$ — коэффициент расплавления, г/(А·ч); d — диаметр проволоки, мм, γ — плотность электродной проволоки, г/см³.

При полуавтоматической и автоматической сварке под флюсом коэффициент расплавления $\alpha_п$ ввиду малых потерь на угар и разбрызгивание может быть принят равным коэффициенту наплавки $\alpha_н$.

Площадь поперечного сечения наплавленного металла одного прохода

$$F_{пр} = F_э \frac{v_э}{v_{св}},$$

где $F_э$ — площадь сечения электродной проволоки, мм².

Нормативы основного времени на сварку шва погонной длиной 1 м, коэффициент наплавки, сила сварочного тока, скорость подачи электродной проволоки при автоматической и полуавтоматической сварке под флюсом, необходимые для расчетов по формулам (6) — (8), приведены в трудах ЦБПНТ и справочниках [10, 11, 14, 15].

При сварке на постоянном токе обратной полярности полученные значения $\alpha_н$ для переменного тока нужно умножить на коэффициент 0,8.

Для полуавтоматической сварки на переменном токе коэффициент наплавки $\alpha_н = 6{,}6 + 0{,}04075 \frac{1000}{d_э}$, где $d_э$ — диаметр электродной проволоки.

Вспомогательное время $t_в = t_{в1} + t_{в2}$.

Вспомогательное время $t_{в1}$ затрачивается на зачистку свариваемых кромок от налета ржавчины, собирание флюса со шва и засыпку его в бункер, зачистку шва от шлака после каждого прохода; осмотр, измерение и клеймение шва, смену кассеты с электродной проволокой, проверку правильности установки головки автомата по оси шва прокаткой автомата вхолостую, откатку автомата в исходное положение при многопроходной сварке, переходы сварщика к началу шва при многопроходной сварке, подтягивание проводов, откусывание огарка проволоки. В зависимости от толщины δ свариваемого металла, вида соединений и сварных швов вспомогательное время $t_{в.ш}$ изменяется в широких пределах. При изменении δ от 3 до 50 мм $t_{в.ш}$ изменяется в пределах 1,2—22,2 мин на погонную длину шва 1 м.

Вспомогательное время $t_{в.2}$ затрачивается на установку головки полуавтомата в начале шва, перемещение сварщика с полуавтоматом (автоматом) и инструментом от шва к шву (при работе с переносными автоматами и полуавтоматами), установку, поворот и снятие изделия, перемещение сварщика (при работе на стационарных автоматах), клеймение шва.

Время на заправку кассет при автоматической сварке, если сварщик выполняет сам эту работу,

$$t_{з.к} = t_{о.з} \frac{G_н}{G_{пр}},$$

где $t_{о.з}$ — время на одну заправку кассеты, мин; $G_н$ — линейная плотность наплавленного металла, кг/м; $G_{пр}$ — масса электродной проволоки, заправляемой в одну кассету, кг.

При ручной заправке кассет закрытого типа массой 8—20 кг величина $t_{о.з} = 5 \div 7{,}2$ мин. При механизированной заправке кассет такой же массы $t_{о.з} = 6{,}4$ мин. Нормативы вспомогательного времени по перечисленным видам работ на погонную длину шва 1 м указаны в справочной литературе [11] и сборниках норм и расценок.

Время обслуживания рабочего места, затрачиваемое на регулирование заданного режима, включение и выключение оборудования и механизмов, раскладку и уборку инструмента, установку и смену кассеты с электродной проволокой, заправку флюса в начале и уборку его после окончания работы, промывку и продувку шланга при полуавтоматической сварке, уборку рабочего места и т. д., рассчитывают по нормативам (табл. 2 и 3).

2. Время обслуживания рабочего места, время на отдых и личные надобности при автоматической сварке в удобном положении

Оборудование	Время обслуживания рабочего места, % от оперативного времени	Время на отдых и личные надобности, % от оперативного времени	Коэффициент к оперативному времени
Стационарные установки	5	4	1,09
Переносные автоматы	6 8 9	5 10 12	1,11 1,18 1,21

3. Время обслуживания рабочего места, время на отдых и личные надобности при полуавтоматической сварке

Сварка	Время обслуживания рабочего места, % от оперативного времени	Время на отдых и личные надобности, % от оперативного времени	Коэффициент к оперативному времени
В удобном положении	7	6	1,13
В неудобном положении	9	11	1,20
В закрытых свободных или полуоткрытых тесных объемах	12	18	1,30
Конструкции с применением переносных лестниц высотой свыше 3 м	15	20	1,35
Крупногабаритных объемных и полуобъемных конструкций с применением специальной оснастки (постелей, кондукторов и кантователей)	18	27	1,45

Время на отдых и личные надобности определяют так же, как и время обслуживания рабочего места, в процентах от оперативного времени по табл. 2 и 3.

Подготовительно-заключительное время в зависимости от типа производства, конструктивной и технологической сложности изготовляемых сварных конструкций может быть принято 2—4% от оперативного времени.

НОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКИ

Основное время при электрошлаковой сварке затрачивается на расплавление кромок свариваемого изделия и присадочного металла, а также формирование шва свариваемого соединения [см. формулу (7)].

4. Вспомогательное время

Операция	Время (мин) сварки погонной длины шва 1 м
Вспомогательное время, зависящее от длины сварного шва	
Зачистка свариваемых кромок от окалины, шлака, ржавчины вручную, зубилом и щеткой	1,0
Обмазка медных подкладок огнеупорной глиной, асбестом в положении:	
удобном	2,0
неудобном	3,5
Зачистка шва от шлака, глины, асбеста после сварки (с одной стороны) вручную, зубилом и щеткой, осмотр шва	0,4
Передвижение аппарата в исходное положение для сварки прямолинейных швов (сверху вниз), корректировка расположения мундштука в зазоре по длине шва	1,0
Вспомогательное время, связанное с изделием и работой оборудования	
Установка направляющей рейки с аппаратом на изделие и снятие их после сварки	12,0
Установка аппарата типа А-340 на изделие, крепление и снятие его после сварки	5,0—9,0
Установка кассеты массой до 250 кг на стойки стенда и снятие их:	
на полу	2,0
на балконе краном	4,5
Установка токоподвода к изделию	2,0—3,5
Установка, крепление и снятие стойки, штанги и внутреннего ползуна при сварке кольцевых швов	50,0
Установка и крепление пластинчатого электрода	8,0
Установка и крепление плавящегося мундштука в зазор с постановкой изолятора по длине шва и гибкого шланга с проволокой; снятие шланга после сварки:	
при длине мундштука	
до 1 м	12,0
до 2 м	15,0
св. 2 м	20,0
Зарядка аппарата (мундштука) электродной проволокой, поперечная корректировка мундштука по зазору	2,5
Установка концевика возвратно-поступательного движения по зазору	2,2
Установка и крепление медных подкладок для сварки прямолинейных швов, подключение к ним шлангов с охлаждающей водой, снятие их после сварки при длине подкладки:	
до 1 м	5,0
до 3 м (из двух частей)	8,0
Установка кармана и двух выходных планок, прихватка их; обмазка глиной и засыпка флюсом с металлической стружкой перед сваркой	7,5
Установка ползуна на подвеску, поджатие его к изделию, обмазка глиной, снятие ползуна после сварки	2,5
Опробование схемы работы установки в соответствии с инструкцией	7,0

Скорость сварки плавящимся мундштуком (пластинчато-проволочными электродами)

$$v_{\text{п. эд}} = \frac{7{,}06 n_{\text{эд}} v_{\text{эд}}}{F_{\text{эп}}},$$

где $F_{\text{эп}} = F_{\text{об}} - F_{\text{п.т}}$ — площадь поперечного сечения шва, наплавляемая электродной проволокой, мм²; $F_{\text{об}}$ — общая площадь поперечного сечения наплавленного металла шва, мм²; $F_{\text{п.т}}$ — площадь поперечного сечения шва, наплавленная пластинчатыми и трубчатыми электродами, мм².

Скорость сварки прямолинейных и кольцевых стыковых швов проволочными электродами, а также скорость сварки стыковых прямоугольных сечений пластинчатыми электродами определяются по формулам, приведенным в справочнике [15].

Основное время электрошлаковой сварки металла определенных толщин, свариваемого проволочными, пластинчатыми и пластинчато-проволочными электродами (плавящимися мундштуками), приведено в трудах ЦБПНТ и справочнике [15].

Вспомогательное время при электрошлаковой сварке приведено в табл. 4, а подготовительно-заключительное время — в табл. 5.

5. Подготовительно-заключительное время при электрошлаковой сварке

Операция	Время (мин) сварки погонной длины шва 1 м	Операция	Время (мин) сварки погонной длины шва 1 м
Получение производственного задания и инструктажа	6,0	движения мундштука путем перестановки сменных зубчатых колес	3,3
Ознакомление с работой	5,0	Правка мундштука перед установкой на аппарат	2,5
Получение и сдача инструмента	4,0	Установка мундштука на аппарат и снятие с него	3,5
Осмотр и подготовка стенда к работе	5,0	Смена (перестановка) на аппарате кронштейна подвески ползунов	18,0
Установка скорости сварки или скорости подачи электрода путем перестановки пары сменных зубчатых колес	4,2	Сдача работы	2,0
Установка скорости возвратно-поступательного (поперечного)			

НОРМИРОВАНИЕ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ

Норма штучного времени при контактной сварке включает основное и вспомогательное время, время обслуживания и регламентированные перерывы.

Основное время при контактной сварке предназначено непосредственно для сварки стыка, точки, шва (соответственно при стыковой, точечной, шовной сварке).

Основное время точечной сварки низкоуглеродистой стали может быть определено ориентировочно по нормативам ЦБПНТ и [11].

Основное время шовной сварки

$$t_{\text{о. ш}} = \frac{l_{\text{ш}}}{v},$$

где $l_{\text{ш}}$ — длина шва, м; v — скорость сварки, м/мин.

Вспомогательное время расходуется:

при точечной сварке на стационарных машинах — на сборку деталей в приспособлениях по рискам, кромкам, отверстию и шаблону, установку деталей в электродах машины, включение машины, перемещение и снятие изделия;

при точечной сварке переносными машинами — на подноску и установку машины в начале сварки; включение машины, перемещение ее для сварки последующей точки и возвращение в исходное положение;

при шовной сварке — на поднос детали и установку ее на нижний ролик, включение и выключение машины, поднятие верхнего ролика, снятие и перемещение изделия;

при стыковой сварке — на поднос деталей и установку их в губки машины, опускание защитного щитка, раскрепление губок, снятие и перемещение изделия.

6. Вспомогательное время при стыковой сварке сплошного сечения, мин

Площадь свариваемого сечения, мм²	Зажимы	
	гидравлические, пневматические, механические	ручные, рычажные и винтовые
100— 200	0,6	0,7—0,8
200— 600	0,7	0,8—1
600—1000	0,75	1—1,2
1000—1500	0,8	1,2—1,4
1500—2500	1	1,4—1,7

Время, затрачиваемое на все перечисленные выше работы, определяется по нормативам [10 и 11], а при стыковой сварке сплошного сечения может быть принято по табл. 6.

Время обслуживания рабочего места устанавливают по данным фотографии рабочего дня, а при укрупненных расчетах в виде коэффициентов к оперативному времени. Так, в зависимости от конструкции машины для стыковой сварки $t_{обсл} = 11 \div 15\%$ от $t_{опер}$.

Подготовительно-заключительное время, затрачиваемое на инструктаж, получение задания, подготовку машины, установку и регулирование режимов сварки, сдачу работы и т. д., принимают равным приблизительно 30—40 мин (при укрупненных расчетах иногда принимают суммарную величину $t_{п.з}$, $t_{обсл}$, $t_в$, $t_п$, равной для стыковой сварки приблизительно 25—40%, точечной приблизительно 20—50% и шовной приблизительно 10—30% от $t_{опер}$).

НОРМИРОВАНИЕ АЦЕТИЛЕНО-КИСЛОРОДНОЙ СВАРКИ

Основное время при ацетилено-кислородной сварке зависит от толщины свариваемого металла, вида соединения и подготовки свариваемых кромок, режима и способа сварки:

$$t_о = \frac{G_н}{\alpha_н} = \frac{F\gamma}{\alpha_н},$$

где $\alpha_н$ — коэффициент наплавки, г/(А·ч); F — площадь поперечного сечения шва, мм²; γ — плотность наплавленного металла, г/см³.

Основное время сварки погонной длины шва 1 м

$$t_{о.шв} = t_о l + t_р n_р,$$

где l — длина свариваемого шва, м; $t_р$ — время на один разогрев свариваемых кромок, мин; $n_р$ — число разогревов.

7. Основное время (мин) на одну прихватку различной длины в зависимости от толщины свариваемого металла

Толщина свариваемого металла, мм	Длина прихваток, мм				
	10	15	20	25	30
0,5	0,14	0,18	0,22	0,25	0,3
1	0,18	2,23	0,28	0,32	0,37
2	0,25	0,4	0,55	0,7	0,8

Время на прихватку определяется при укрупненных расчетах по табл. 7.

Вспомогательное время, связанное со свариваемым швом и со свариваемым изделием, может быть определено по нормативам на вспомогательное время при ручной дуговой сварке. Вспомогательное время на осмотр, очистку и измерение шва принимают 0,6 мин на 1 м шва.

Вспомогательное время на смену прутков при сварке погонной длины шва 1 м заданного сечения

$$t_{см} = \frac{F}{t_{см.уд}};$$

$$t_{см.уд} = \frac{t'_{см}}{V_{эф}} = \frac{4 \cdot 1000\,(t_{пр} + t_р)}{0{,}9\pi\, d^2_{пр} l_п};$$

$$V_{эф} = \frac{0{,}9\pi\, d^2_{пр} l_п}{4 \cdot 1000},$$

где $t_{см.уд}$ — время на смену прутка, отнесенное к 1 см³ наплавленного металла шва, мин/см³; $t'_{см}$ — время на смену одного прутка, мин; $t_{пр}$ — время на приварку одного прутка к огарку; $t_р$ — время на один разогрев шва, мин; $V_{эф}$ — эффективный объем одного прутка с учетом потерь на угар и разбрызгивание (последние равны ≈ 10%); $d_{пр}$ — диаметр присадочной проволоки, мм; $l_п \approx 500$ мм — длина присадочного прутка, мм.

Время обслуживания рабочего места при централизованной подаче газов от магистрали составляет 3—4% от оперативного времени. При питании сварочного поста от баллона затраты этого времени увеличиваются и зависят от расхода газа; $t_{обсл}$ изменяется в пределах 5—12% от $t_{опер}$.

Время на отдых в единичном и мелкосерийном производстве составляет приблизительно 6—10% от оперативного времени, а время на естественные надобности приблизительно 2% от того же времени.

Подготовительно-заключительное время устанавливается в зависимости от сложности выполняемой работы (простая, средней сложности и сложная). К простой работе относят сварку прямолинейных швов неответственных конструкций, имеющих простое очертание, с числом мест соединений не более десяти, при толщине свариваемого металла не более 10 мм.

К работе средней сложности относят сварку нижних, горизонтальных, вертикальных непрямолинейных швов, приварку фасонных частей с общим числом мест соединений не более 20 при толщине свариваемого металла не более 10 мм.

К сложной работе относят сварку ответственных конструкций в любом положении, со сложными очертаниями и большим числом мест соединений при толщине свариваемого металла от 10 мм и более.

При укрупненных расчетах норм времени могут быть использованы данные, приведенные в табл. 8.

8. Ориентировочные нормы подготовительно-заключительного времени на партию, мин

Элементы работы	Работа		
	простая	средняя	сложная
Оформление:			
получение производственного задания и инструктаж, ознакомление с работой	6,5	8,2	10
сдача работы	3	5	7
Подготовка:			
кислородного баллона к сварке	4	4	4
и уборка приспособления, подключение и отключение газов	4,5	5	12
и установка наконечника горелки, зажигание, регулировка и уборка горелки	1,5	1,5	1,5
Надевание и снятие шлангов с горелки	1,8	1,8	1,8
Подключение и отключение шлангов:			
от магистрали и от водяного затвора	2,1	2,1	2,1
от редуктора баллона	1,2	1,2	1,6
Регулировка рабочего давления газов, продувка горелки	2	2	2
Включение и выключение кислорода и ацетилена	1	1	1

Норма штучного времени при ацетилено-кислородной сварке

$$t_{шт} = [(t_о + t_{в.с.ш})\, l + t_р n + t_{в.изд}]\, k_1,$$

где $t_{в.с.ш}$ — вспомогательное время, связанное со свариваемым швом, мин; l — длина шва; $t_{в.изд}$ — вспомогательное время, связанное со свариваемым изделием, мин; $k_1 \approx 1{,}11 \div 1{,}24$ — коэффициент, учитывающий затраты времени на обслуживание рабочего места, перерывы на отдых и личные надобности.

НОРМИРОВАНИЕ ГАЗОВОЙ РЕЗКИ

Основное время, в течение которого струя кислорода и пламя резака действуют на металл,

$$t_{\text{о. газ}} = t_1 l + t_2 n_{\text{п}},$$

где t_1 — основное время резки погонной длины реза 1 м, мин; l — расчетная длина реза на одну деталь, м; t_2 — основное время на один подогрев в начале реза, мин; $n_{\text{п}}$ — число подогревов в начале резки на одну деталь;

$$t_1 = \frac{1000}{v_{\text{р}}},$$

где $v_{\text{р}}$ — скорость резки, устанавливаемая по паспортным данным оборудования и аппаратуры, мм/мин.

вспомогательное время:

зависящее от длины реза, затрачивается на осмотр и очистку металла вдоль линии реза, регулировку движения резака относительно линии реза, осмотр и проверку качества обрезаемых кромок, зачистку кромок от шлака;

связанное с изделием и работой оборудования, затрачивается на установку, повороты и снятие изделий, переходы газорезчика, подвод суппорта с резаком и установку резака в исходное положение; установку и перестановку полуавтомата, копирного пальца, направляющей линейки; передвижение и выверку копира; установку резака на заданный режим и клеймение изделия; основное время, режимы для различных видов ручной и машинной газовой резки сталей, скорости резки, поправочные коэффициенты к основному времени резки, время на подогрев в начале реза, а также вспомогательное время приведены в справочной литературе [10, 11, 15].

Время обслуживания рабочего места в зависимости от вида оборудования, условий выполнения работы, толщины разрезаемого металла составляет при машинной резке 4—6% и при ручной резке 3—12% от оперативного времени.

Время перерывов на отдых и личные надобности при машинной резке составляет 5—6% и при ручной резке приблизительно 7—10% от оперативного времени

Подготовительно-заключительное время в серийном и крупносерийном производстве составляет 2% от оперативного времени.

Норма штучного времени при газовой резке

$$t_{\text{шт. газ}} = [(t_1 + t_{\text{в. р}})\, l + t_2 n + t_{\text{вн. о}}]\, k_1,$$

или

$$t_{\text{шт. газ}} = [(t_1 + t_{\text{в. р}})\, l + t_2 n + t_{\text{в. изд}}]\, k_2,$$

где $t_{\text{в. р}}$ — вспомогательное время, зависящее от длины реза, затрачиваемое на погонную длину реза 1 м, мин; $t_{\text{в. и. о}}$ — вспомогательное время, связанное с изделием и работой оборудования на деталь, мин; k_1 — коэффициент, учитывающий время на обслуживание рабочего места, отдых и личные надобности; он изменяется при машинной резке от 1,09 до 1,16; при ручной — от 1,11 до 1,32; k_2 — коэффициент, учитывающий те же затраты времени, что и k_1, а также подготовительно-заключительное время; при ручной резке он равен 1,12—1,24, при машинной резке — 1,12—1,19.

НОРМИРОВАНИЕ РАСХОДА ЭЛЕКТРОДОВ, ЭЛЕКТРОДНОЙ ПРОВОЛОКИ, ФЛЮСА И ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ

Расход электрода на погонную длину шва 1 м

$$G_{\text{э}} = k_{\text{э}} G,$$

где G — масса наплавленного металла, г; $k_{\text{э}}$ — коэффициент расхода электродов.

Коэффициент $k_{\text{э}}$ учитывает потери электродов на угар, разбрызгивание и огарки, а также массу покрытия электродов. Этот коэффициент зависит от марки применяемых электродов и режима сварки

$$k_{\text{э}} = k_{\text{у. р}} k_{\text{о. г}} k_{\text{покр}},$$

где $k_{\text{у. р}}$ — коэффициент, учитывающий потери металла на угар и разбрызгивание; $k_{\text{о. г}}$ — коэффициент потерь на огарки, зависящий от конструкции электрододержателя и силы сварочного тока (потери на огарки не должны превышать 7—10% от массы электродного стержня); $k_{\text{покр}}$ — коэффициент, учитывающий массу покрытия; определяется по паспорту электрода.

Коэффициент $k_{\text{пр}}$, учитывающий потери присадочного металла (по данным монтажных участков Министерства строительства электростанции), составляет:

Сварка	$k_{\text{пр}}$	Сварка	$k_{\text{пр}}$
Меловыми электродами	1,33	Полуавтоматическая	1,10
Качественными электродами	1,43	Газовая	1,05

Расход электродной проволоки при полуавтоматической и автоматической сварке под флюсом

$$G_{\text{эл}} = G k_{\text{п}},$$

где $k_{\text{п}} = 1{,}03$ — коэффициент, учитывающий неизбежные потери электродной проволоки при наладке оборудования, неиспользование концов проволоки в бухте.

Расход электродной проволоки при укрупненных расчетах принимается равным массе наплавленного металла шва с учетом 3% потерь на обрубку концов проволоки при зарядке кассет, неиспользуемые концы и т. д.

Расход флюса определяется опытным путем. Для ориентировочных расчетов расход флюса может быть принят 1,2—1,4 от массы расходуемой электродной проволоки.

Расход электроэнергии на погонную длину шва 1 м при ручной дуговой сварке

$$A_{\text{э. п. м}} = A'_{\text{э}} G_{\text{н}},$$

где $G_{\text{н}}$ — масса наплавленного металла на погонную длину шва 1 м, кг; $A'_{\text{э}}$ — удельный расход электроэнергии, кВт·ч/кг, без учета потерь в силовой сети завода и на трансформаторной подстанции;

$$A'_{\text{э}} = \frac{Bt + \omega_0 (T - t)}{G},$$

где $B = \dfrac{U_{\text{д}} J_{\text{св}}}{\eta \cdot 1000}$;

$U_{\text{д}}$ — напряжение на дуге, В; $J_{\text{св}}$ — сила сварочного тока; А; η — КПД сварочного поста; T — полное время сварки, ч; t — время горения дуги за время T, ч; G — масса наплавленного металла за время T, кг; ω_0 — мощность холостого хода сварочного трансформатора или генератора, кВт.

Удельный расход электроэнергии

$$A'_{\text{э}} = \frac{D}{0{,}001 J \alpha_{\text{н}}},$$

где $D = \dfrac{\omega_{\text{д}}}{\eta} + \dfrac{1}{k_{\text{исп}}} \omega_0$; $k_{\text{исп}}$ — коэффициент использования сварочного поста, равный отношению времени горения дуги за смену к продолжительности смены; $\alpha_{\text{н}}$ — коэффициент наплавки, г/(А·ч); $\omega_{\text{д}}$ — мощность сварочной дуги, кВт;

$$\omega_{\text{д}} = 0{,}001 U_{\text{д}} J.$$

С учетом потерь в сети и на подстанциях при укрупненных расчетах $A_э$ может быть принят равным для однопостового агрегата 6—7 кВт·ч/кг, для многопостовой сварочной машины постоянного тока 8—11 кВт·ч/кг, для однопостового однофазного трансформатора (без осциллятора) 3—5 кВт·ч/кг, при сварке на переменном токе 3—4 кВт·ч/кг и при сварке на постоянном токе 6—7 кВт·ч/кг.

9. Расход электроэнергии при контактной сварке

Стыковая сварка оплавлением		Точечная сварка на автоматических машинах	
Площадь поперечного сечения в месте сварки, мм²	Расход электроэнергии на сварку одного стыка, кВт·ч/стык	Суммарная толщина свариваемых листов, мм	Расход электроэнергии на 100 точек, кВт·ч/100 точек
100	0,006	—	—
200	0,24	—	—
300	0,06	2	0,04
500	0,125	4	0,08
1000	0,4	6	0,13
1500	0,825	8	0,23
2000	1,275	10	0,38
2500	1,725	12	0,62

10. Расход газов при сварке горелками типа РС-53 и ГСМ-53

Номер наконечника	Толщина стали, мм	Рабочее давление кислорода, кгс/см²	Расход, л/ч	
			кислорода	ацетилена
0	0,2—0,7	0,5—4	22—70	20—65
1	0,5—1,5	1—4	55—135	50—125
2	1—2,5	1,5—4	130—260	120—210
3	2,5—4	2—4	260—440	230—400
4	4—7	2—4	430—750	400—700
5	7—11	2—4	740—200	670—1100
6	10—18	2—4	1150—1950	1050—1750
7	17—30	2—4	1900—3100	1700—2800

Расход электроэнергии на погонную длину шва 1 м при полуавтоматической и автоматической сварке (без дополнительных затрат электроэнергии на вращение изделия, передвижение трактора и т. д.)

$$A_{э.\,п.\,м} = \frac{\omega_д}{\eta v_{св}},$$

где η — КПД установки, принимаемый в зависимости от ее типа; $v_{св}$ — скорость сварки, м/ч.

При дуговой ручной сварке раеход электроэнергии на 1 кг наплавленного металла (при сварке от сварочного трансформатора)

$$A'_э = \frac{U_д}{\eta_t \alpha_н},$$

где η_t — КПД трансформатора.

При укрупненных расчетах $A'_э \approx 3{,}5 \div 4$ кВт·ч/кг наплавленного металла (сварка трансформатором); 6—8 кВт·ч/кг при работе от однопостового генератора постоянного тока и 8—10 кВт·ч/кг при работе от многопостового генератора постоянного тока.

11. Нормы выхода ацетилена на 1 кг карбида кальция

Размеры кусков карбида кальция, мм	Условное обозначение размеров, мм	Нормы выхода ацетилена, (л) сорта	
		1-го	2-го
От 2 до 8	28	255	235
» 8 » 15	815	265	245
» 15 » 25	1525	275	255
» 25 » 80	2580	285	265

Расход электроэнергии при контактной сварке определяется путем измерения фактического расхода на сварной стык или точку. Ориентировочные нормы расхода электроэнергии при контактной сварке приведены в табл. 9.

Расход кислорода и ацетилена (на монтажных и строительных участках для резки листового металла, для подогрева при подгибке и рихтовке труб, для сварки листового металла небольшой голщины и т. д.) определяется путем фиксации фактического потребления их непосредственно на постах по показаниям ротаметров РС-3 или РС-5.

Ориентировочные нормы расхода газов приведены в табл. 10 и 11.

ПОРЯДОК РАЗРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИ ОБОСНОВАННЫХ НОРМ

Нормирование труда и расчет технически обоснованных норм производится по нормативам, т. е. справочно-расчетным материалам, отражающим специфику определенных организационно-технических условий. Речь идет о нормативах времени, нормативах численности и времени обслуживания, нормативах режима работы оборудования. Разработка нормативов времени производится в последовательности: подготовка к наблюдениям, сбор числовых значений факторов, корректирование данных наблюдений на основе совершенствования труда на рабочем месте, анализ и обработка исходных данных, оформление и утверждение нормативов.

12. Ориентировочное число измерений при хронометраже

Операции	Длительность операции, мин			
	До 1	1—5	5—10	Св. 10
Ручные	30	20	12	8
Машинно-ручные	15	15	10	6
Машинные при работе на потоке с регламентированным ритмом	10	10	6	4

Качество нормативов зависит от точности измерения времени, числа хронометражных измерений (табл. 12) и способа обработки данных.

Возможность применения математической обработки данных наблюдений — важное условие создания многофакторных нормативов. С увеличением числа факторов, учитываемых при определении нормативных затрат труда, они все больше приближаются к необходимым. О степени соответствия нормативных и необходимых затрат времени судят по среднеквадратическому отклонению

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{\Sigma (t_н - t_у)^2}{n-1}},$$

где $t_н$ — нормативные затраты времени на конкретную работу, полученные по нормативным таблицам или формулам; $t_у$ — необходимые затраты времени, приравниваемые условно к фактическим; n — число работ, нормируемых с помощью рассматриваемого норматива.

Обычно величине σ_t придается более важное значение, чем уровню напряженности нормативов и их универсальности, так как σ_t непосредственно влияет на норму трудовых затрат.

Выбор метода математической обработки результатов исследований, полученных на основе статистических данных и хронометражных наблюдений, зависит от числа принятых количественных и качественных факторов, наличия ЭВМ и стандартных программ обработки хронометражных данных.

Расчет среднеарифметической или моды ряда наблюдений и графоаналитическую обработку данных используют при нормировании труда основных рабочих и разработке нормативов на простые работы, выполняемые ИТР и служащими. Метод корреляции (метод наименьших квадратов) применяют при обработке многофакторных зависимостей. Сочетание метода корреляции с элементами математической теории распознавания образов используют для одновременного нахождения зависимостей затрат времени от количественных и качественных факторов. Предпочтение в большинстве случаев отдается этим двум методам, так как они позво-

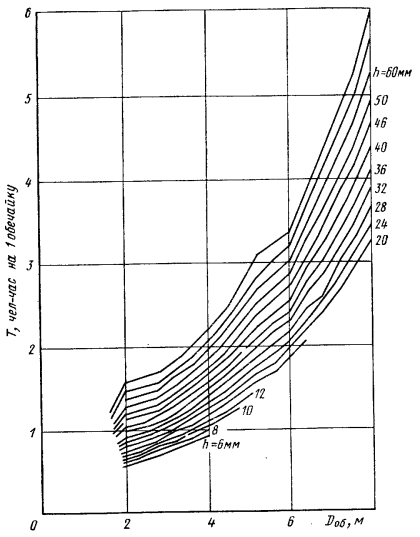


Рис. 10. Зависимость затрат времени T на сборку под сварку продольных кромок цилиндрических обечаек из одного свальцованного листа от их диаметра $D_{об}$ и толщины металла h

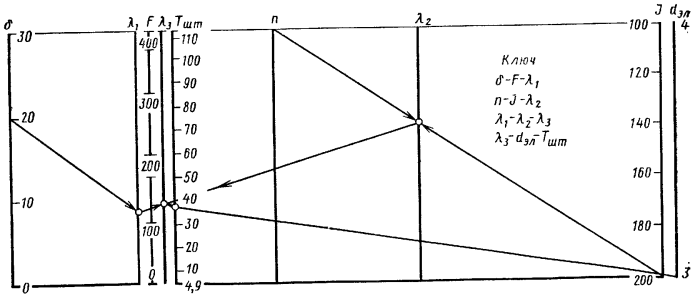


Рис. 11. Номограмма для расчета затрат времени на сварку погонной длины шва 1 м:

$T_{шт\text{-}к} = -1{,}5 + 0{,}3\delta + 0{,}22F - 0{,}03J + 5{,}39n + 2{,}34d_{эл}$, где δ — толщина металла, мм; F — площадь поперечного сечения сварного шва, мм²; J — сила тока, А; n — число слоев шва, шт.; $d_{эл}$ — диаметр электродов, мм

ляют учесть большее число факторов и уменьшить разницу между фактическими и нормативными затратами времени на выполнение нормируемых работ.

Значительно облегчается и упрощается разработка нормативов при наличии приведенных на рис. 10 и 11 (в качестве примеров) графических зависимостей и номограмм.

Нормативы численности и времени обслуживания определяют по данным фотографии рабочего дня. Их используют для расчета числа рабочих, обслуживающих производственный процесс. В данном случае нормативы регламентируют число работников для выполнения определенного объема заготовительных или сборочно-сварочных работ в конкретных производственных условиях.

Нормативы режима работы оборудования используют для нормирования основного машинного и машинно-ручного времени. Они содержат экспериментально обоснованные и подтвержденные передовым опытом данные, позволяющие назначать наиболее рациональные температурные режимы, скорости резки, сварки в соответствии с техническими возможностями машин, свойствами обрабатываемых металлов, характером технологических операций и оснастки, требованиями к точности обработки деталей, обеспечивающие наименьшие затраты времени на выполняемые работы.

При классификации сварных конструкций и типизации технологических процессов нормирование труда производят по укрупненным расчетно-типовым нормам. Различают заводские нормативы, разрабатываемые на характерные для отдельных заводов виды заготовительных, обрабатывающих, сборочных, сварочных и других работ; отраслевые нормативы — на работы, специфичные для отрасли машиностроения, и общемашиностроительные нормативы — на работы, выполняемые многими заводами машиностроения.

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ОБЪЕМА ПРОИЗВОДСТВА СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ПОКАЗАТЕЛИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА

Объем производства сварочных цехов может быть выражен в натуральных, трудовых и стоимостных (ценностных) измерителях.

Натуральный метод характеризуется конкретностью и объективностью количественных и качественных показателей объема производства, простотой их расчета, возможностью полного представления состава номенклатурно-планового задания, динамики и обновления его. Недостатки этого метода: не учитывается незавершенное производство, не обеспечивается сопоставимость выпуска широкой и переменной номенклатуры сварных конструкций; при измерении объема производства в физических тоннах стимулируется изготовление заводами тяжелых, но менее трудоемких сварных конструкций; исключается возможность сравнительной оценки работы различных сварочных цехов. Метод целесообразно применять для исчисления объема производства одинаковых и однотипных сварных конструкций, при планировании кооперированных поставок, а также при сопоставлении производства важных видов сварных конструкций цехов и заводов отрасли.

Трудовой метод позволяет исчислять в единицах нормированного времени объем готовых элементов и незавершенное производство на всех стадиях процесса изготовления сварных конструкций; обеспечивает сопоставимость затрат и результатов труда; отличается объективностью оценки технического уровня сварочного производства, степени его механизации и автоматизации; устраняет искажающее влияние на объем производства повторного счета, ассортиментных сдвигов и т. д. Недостатки этого метода: трудность применения его ввиду сравнительно небольшой доли технически обоснованных норм времени в общем их объеме; нарушение связи между показателем выработки и конкретной продукцией; не учитывается структура работ по их сложности и специфичности выполнения, что весьма важно при расчете индивидуальной производительности труда. Метод целесообразно применять для исчисления объема производства сварных конструк-

ций, изготовляемых с применением технически обоснованных и неизменных в течение определенного времени норм, одинаковой степени напряженности; для расчета производительности труда рабочих, выполняющих нормируемые работы.

Стоимостный (ценностный) метод характеризуется возможностью измерения всего объема производства (готовых сварных конструкций и незавершенного производства) разных сварочных цехов в сопоставимых (соизмеримых) величинах — денежных затратах; получением обобщенных итоговых результатов их работы; достижением органической связи измерителя объема производства со всеми показателями плана. Недостатки этого метода: зависимость стоимостных показателей от факторов, не являющихся следствием производственной деятельности сварочных цехов и их подразделений. К таким факторам могут быть отнесены производственная структура цеха, уровень специализации и кооперирования, уровень цен на материалы, электроэнергию, топливо и т. д., повторность счета, неточность расчетов ввиду отсутствия нормативов на незавершенное производство, разница цен на элементы валовой продукции и т. д. Целесообразность применения метода при планировании, анализе и учете объема производства сварных конструкций с использованием следующих расчетных показателей: валовая продукция, товарная продукция, нормативная стоимость обработки, условно-чистая и чистая продукция.

В соответствии с перечисленными выше методами измерения объема производства сварных конструкций устанавливается практически возможный перечень показателей производительности труда.

Натуральные показатели производительности труда характеризуют число сварных конструкций, узлов, деталей, заготовок; комплектов однотипных заготовок, деталей, узлов; условных учетных (условно-натуральных) единиц; сварных точек; длины сварных швов, приведенных к одному катету; массы наплавленного металла и массы сварных конструкций, произведенных в единицу времени (час, смену, сутки) или на одного работающего в цехе (на участке, поточной линии).

Натуральные показатели производительности труда

$$П_{р}=\frac{N_{п}}{K_{сп}};$$

$$П_{н.ч}=\frac{N_{п}}{Q},$$

где $П_{р}$, $П_{н.ч}$ — соответственно выработка на одного работающего, на один затраченный нормо-час (чел.-час); $N_{п}$ — объем произведенной продукции, натуральные измерители; $K_{сп}$ — среднесписочное число работающих; Q — нормо-часы (чел.-час), затраченные на $N_{п}$.

Количество продукции, произведенной на рабочем месте (участке),

$$П_{р.у}=\frac{F_{р.у}}{t_{шт}},$$

где $F_{р.у}$ — продолжительность анализируемого периода времени работы рабочего места (участка), ч; $t_{шт}$ — норма времени на изготовление соответственно одной конструкции, узла, детали, заготовки, комплекта или на выполнение 1000 сварных точек, погонной длины шва 1 м; на наплавку 1 кг металла; на производство 1 т сварных конструкций.

Практически возможная область применения натурального показателя: для внутрицехового (внутризаводского) учета производительности труда, для анализа динамики индивидуальной производительности труда рабочих (бригад), для оценки уровня использования мощности машин и оборудования, для расчета опережений в работе рабочих мест, участков и т. д.

Трудовые показатели производительности труда характеризуют число человеко-часов или нормо-часов, затрачиваемых на единицу сварного изделия (узел, деталь, заготовку); на комплект однотипных сварных заготовок, деталей, узлов;

на условную учетную (условно-натуральную) единицу, или на выполнение 1000 сварных точек, погонной длины шва 1 м, на наплавку металла, на производство 1 т сварных конструкций.

Выработка рабочего (бригады) в виде фактически затраченного рабочего времени на единицу изготовленной продукции, выраженной в перечисленных выше измерителях,

$$П_{т}=\frac{Q}{N_{п}}.$$

Применять этот показатель целесообразно для анализа производительности труда в масштабе завода, цеха и рабочего места; для оценки затрат труда на каждый вид изготовляемой продукции в любой степени ее готовности; для установления динамики их под влиянием технико-организационных факторов и экономии рабочего времени.

Стоимостный показатель производительности труда — это валовая (товарная) продукция в сравнимых оптовых ценах; чистая, условно-чистая продукция в оптовых ценах предприятия (за вычетом материальных затрат), нормативная стоимость обработки (изготовления), приходящиеся на одного работающего, на один затраченный нормо-час (чел.-ч).

Стоимостные (ценностные) показатели производительности труда:

$$П_{в.р}=\frac{N_{в}}{K_{сп}};$$

$$П_{в.н}=\frac{N_{в}}{Q};$$

$$П_{ч\,(у-ч.н)}=\frac{N_{ч\,(у-ч.н)}}{K_{сп}};$$

$$П'_{ч\,(у-ч,н)}=\frac{N_{ч\,(у-ч.н)}}{Q},$$

где $П_{в.р}$, $П_{в.н}$ — соответственно выработка валовой (товарной) продукции на одного работающего, на один затраченный нормо-час (чел.-час); $N_{в}$ — валовая (товарная) продукция в сравнимых оптовых ценах; $П_{ч\,(у-ч,н)}$; $П'_{ч\,(у-ч,н)}$ — чистая (условно-чистая и по нормативной стоимости изготовления) продукция соответственно на одного работающего, на один затраченный нормо-час (чел.-час); $N_{ч(у-ч.н)}$ — объем чистой (условно-чистой, по нормативной стоимости изготовления) продукции, произведенной за определенный планируемый период.

$$N_{в}=N_{т}+Z_{и.о.н},$$

где $N_{т}$ — товарная продукция; $Z_{и.о.н}$ — изменение остатков незавершенного производства.

Применять стоимостные показатели целесообразно для соизмерения производительности труда в различных сварочных цехах, на участках и рабочих местах; для определения производительности труда с учетом всего объема производства (или разнотипной готовой продукции); для сопоставления темпов роста производительности труда и заработной платы; для измерения производительности труда на различных этапах производства и при освоении новых сварных конструкций.

При практическом использовании перечисленных выше методов измерения объема производства сварных конструкций и показателей производительности труда

$$N_{в}=N_{т}+(H_{к}-H_{н}),$$

где $N_{т}$ — объем выпуска сварных изделий (товарная продукция); $H_{н}$ — незавершенное производство на конец планируемого периода; $H_{п}$ — фактический остаток незавершенного производства на начало планируемого периода,

Общая величина незавершенного производства $H_{н.п}$ зависит от длительности производственного цикла в днях и среднедневного выпуска продукции сварочным цехом (пролетом, участком) $N_д$:

$$H_{н.п} = f(T_ц,\ N_д);$$

$$H_к = \frac{H_н N_{сл}}{N_{пл}},$$

где $N_{пл}$ — объем выпуска сварных изделий в I квартале планируемого года; $N_{сл}$ — то же в I квартале года, следующего за планируемым.

Чистая продукция равна разности валовой (товарной) продукции в оптово-отпускных ценах предприятия и суммы всех (m наименований) затрат на материальные элементы производства ($C_{м1}$, ..., $C_{мi}$, ..., $C_{мт}$), включая амортизацию:

$$N_ч = N_в - \sum_1^m C_{мi}.$$

Условно-чистая продукция

$$N_{у.ч} = N_ч + A_{п.от},$$

где $A_{п.от}$ — отчисления на амортизацию производственного оборудования и транспортных средств.

Произведенная сварочным цехом продукция по нормативной стоимости обработки (изготовления)

$$N_н = Ц_{р.ц} - (M + K_{пост} + П_{пр.ц}),$$

где $Ц_{р.ц}$ — внутризаводская расчетная цена на продукцию сварочного цеха, руб.; M — стоимость основных материалов, руб.; $K_{пост}$ — кооперированные поставки (покупные полуфабрикаты и комплектующие детали), руб.; $П_{пр.ц}$ — прибыль (накопления) цеха за счет снижения себестоимости сварных конструкций;

$$Q = \frac{\sum_1^m N_{i\,с.к} t_{шт\,i}}{k_в},$$

где m — число типоразмеров (позиций номенклатурно-планового задания) сварных изделий, изготовляемых цехом (пролетом, участком, рабочим местом); $N_{i\,с.к}$ — число сварных конструкций i-го типоразмера; $t_{шт\,i}$ — норма штучного времени на i-ю сварную конструкцию, ч; $k_в$ — средний коэффициент выполнения норм времени.

Заработная плата основных производственных рабочих сварочных цехов при прямой сдельной оплате труда

$$З_{п.с} = \sum_1^m N_i p_i,$$

где N_i — количество i-й продукции, изготовленной рабочим (заготовок, деталей, узлов i-го типоразмера, или погонная длина сварного шва i-го типа, получаемого тем или иным способом сварки); m — число типоразмеров заготовок, деталей, узлов и типов сварных швов; p_i — расценка за единицу i-й продукции (штуку, деталь — операцию, погонную длину сварного шва, тонну и т. п.), руб. (коп.).

В общем виде расценка

$$p = Ч_т t_{шт}$$

или

$$p = \frac{Ч_т}{H_{выр}},$$

где $Ч_т$ — часовая тарифная ставка рабочего данного разряда, руб. (коп.); $H_{выр}$ — норма выработки на 1 ч в штуках, метрах сварного шва и т. п.

Процент выполнения сдельных норм (по отработанному времени)

$$в_н = \frac{N_{н.ч}}{F_{ч.ч}} \cdot 100,$$

где $N_{н.ч}$ — объем выполненных работ за месяц, нормо-часы; $F_{ч.ч}$ — отработанное время за этот же период, чел.-ч.

Процент выполнения сдельных норм (по заработной плате):

$$в_з = \frac{З_с}{З_м} \cdot 100,$$

где $З_с$ — сдельная заработная плата за изготовленную в течение месяца продукцию, руб.; $З_м$ — месячный расчетный заработок рабочего по тарифу, руб.

Процент выполнения планового задания:

$$в_{пл} = \frac{N_{фак}}{N_{пл}} \cdot 100,$$

где $N_{фак}$, $N_{пл}$ — фактически выполненный и запланированный объем работ в нормо-часах.

Заработная плата при сдельно-прогрессивной оплате труда

$$З_{с.п} = N_{пл} P_о + N_{св} P_{п.н},$$

где $N_{пл}$ — объем работ, выполненных в пределах нормы; $P_о$ — основная сдельная расценка; $N_{св}$ — объем работ, выполненных сверх нормы; $P_{п.н}$ — повышенная (прогрессивно-нарастающая) расценка.

При коллективно-сдельной оплате, применяемой при бригадной организации труда, заработная плата каждого члена бригады

$$З_к = \frac{\sum_1^m N_п P_п}{\sum_1^a F_i k_i} F_i k_i,$$

где m — число видов работ, выполняемых бригадой; $N_п$ — объем работ n-го вида, нормо-часы; $P_п$ — расценка за единицу работы (шт., 1 т сварной конструкции, 1 кг наплавленного металла и т. п.) n-го вида; a — число разрядов; F_i — число часов, отработанных рабочим i-го разряда; k_i — тарифный коэффициент i-го разряда (или часовая тарифная ставка).

Заработная плата при повременной системе оплаты труда

$$З_{пов} = Ч_т F_о;$$

где $F_о$ — число часов, отработанных рабочим определенного разряда за отчетный период.

Фонд заработной платы производственных рабочих, занятых изготовлением сварных конструкций,

$$Ф_{п.р} = \sum_1^{n'} З_{пр.i} = \sum_1^n З_{oi} + З_{дi} + О_{соп\,i} = \sum_1^n Ч_{ср\,i} t_i \left(1 + \frac{k_д}{100}\right) + \left[Ч_{ср\,i} t_i \left(1 + \frac{k_д}{100}\right)\right] \frac{k_{отч}}{100},$$

13. Часовые тарифные ставки рабочих-сдельщиков сварочного (термического, кузнечного и литейного цеха), коп.

Условия работы	Разряд	Часовая тарифная ставка	Часовые тарифные ставки при увеличении разряда на величину								
			0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Нормальные	I	44,7	45,10	45,50	45,90	46,30	46,70	47,10	47,50	47,90	48,30
	II	48,7	49,22	49,74	50,26	50,78	51,30	51,82	52,34	52,86	52,38
	III	53,9	54,47	55,04	55,61	56,18	56,75	57,32	57,89	58,46	59,03
	IV	59,6	60,34	61,08	61,82	62,56	63,30	64,04	64,78	65,52	66,26
	V	67,0	67,97	68,94	69,91	70,88	71,85	72,82	73,79	74,76	75,73
	VI	76,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Тяжелые и вредные	I	50,3	50,75	51,20	51,65	52,10	52,55	53,0	53,45	53,90	54,35
	II	54,8	55,38	55,96	56,54	57,12	57,70	58,20	58,86	59,44	60,02
	III	60,6	61,24	61,88	62,52	63,16	63,80	64,44	65,08	65,72	66,36
	IV	67,0	67,84	68,68	69,52	70,36	71,20	72,04	72,88	73,72	74,56
	V	75,74	76,49	77,58	78,67	79,76	80,85	81,94	89,03	84,12	85,21
	VI	86,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Особо тяжелые и особо вредные	I	55,7	56,19	56,68	57,17	57,66	58,15	58,64	59,13	59,62	60,11
	II	60,6	61,24	61,88	62,52	63,16	63,80	64,44	65,08	65,72	66,36
	III	67,0	67,72	68,44	69,16	69,88	70,60	71,32	72,04	72,76	72,48
	IV	73,2	75,16	76,06	76,99	77,92	78,85	79,78	80,71	81,64	82,57
	V	82,5	84,70	85,90	87,10	88,30	89,50	90,70	91,90	93,10	94,30
	VI	95,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—

где n — число операций, составляющих технологический процесс; $З_{пр\,i}$ — заработная плата производственных рабочих, выполняющих i-ю операцию; $З_{oi}$ — основная заработная плата, приходящаяся на i-ю операцию; $З_{дi}$ — дополнительная заработная плата, приходящаяся на i-ю операцию; $О_{соц\,i}$ — отчисления в соцстрах, приходящиеся на i-ю операцию; $Ч_{ср\,i}$ — средняя часовая тарифная ставка производственных рабочих, выполняющих i-ю операцию бригадой из двух-трех рабочих и более разных разрядов; за $Ч_{ср\,i}$ принимают средневзвешенную величину часовых тарифных ставок; t_i — норма времени на i-ю операцию; $k_д$ — процент, который составляет дополнительная заработная плата от основной заработной платы (примерно 12—15%); $k_{отч}$ — процент, который составляют отчисления в фонд социального страхования от суммы основной и дополнительной заработной платы (примерно 6—8%).

Средняя часовая тарифная ставка производственных рабочих сварочного цеха принимается в соответствии с часовыми тарифными ставками и средневзвешенным разрядом работ предприятий первой группы (табл. 13).

14. Часовые тарифные ставки для рабочих машиностроительных предприятий, коп.

Условия труда	Разряд					
	I	II	III	IV	V	VI
Нормальные	44,7 / 41,8	48,7 / 45,5	53,9 / 50,3	59,6 / 55,7	67,0 / 62,7	76,7 / 71,7
Тяжелые и вредные	50,3 / 47,1	54,8 / 51,2	60,6 / 56,6	67,0 / 62,7	75,4 / 70,5	86,3 / 80,7
Особо тяжелые и особо вредные	55,7 / 52,1	60,6 / 56,5	67,0 / 62,7	74,2 / 69,3	83,5 / 78,0	95,5 / 89,3

Примечание. В числителе приведены ставки для сдельщиков, в знаменателе — для повременщиков.

Часовые тарифные ставки рабочих первого разряда и группа оплаты труда принимаются по тарифным сеткам и ставкам рабочих машиностроительных заводов при восьмичасовом рабочем дне (табл. 14, 15).

15. Средние разряды работ в сварочных цехах (ориентировочные данные)

Профессия	Разряд	Профессия	Разряд
Резчики	3,0	сборщики узлов под сварку	3,4
Вальцовщики	3,0	на зачистке сварных швов	2,0
Прессовщики	3,4	на правке сварных швов	2,8
Разметчики	2,8	Сварщики:	
Газорезчики:		автоматчики	4,6
на машиной резке	3,5	полуавтоматчики	4,0
на ручной резке	3,2	на контактных машинах	3,5
Слесари:		Газосварщики	5,0
по обработке заготовок и сварных узлов	2,4	Наладчики по установке штампов и другой оснастки	3,5

При расчете заработной платы величина t_i определяется по утвержденным в установленном порядке нормам или по данным фактических трудовых затрат действующих сварочных цехов:

$$t_i = \frac{t_{н\,i}}{K_i},$$

где $t_{нi}$ — норма трудоемкости изготовления изделия (заготовки, детали, узла) на i-й операции; K_l — коэффициент, учитывающий численность бригады или одновременность работы рабочего на нескольких единицах оборудования;

$$t_i = \frac{t_п}{n},$$

где $t_п$ — норма времени на выполнение i-й операции при изготовлении n заготовок; n — число одновременно изготовляемых заготовок (деталей, узлов);

$$t_i = \frac{F_{см}}{N_{см}},$$

где $F_{см}$ — длительность рабочей смены, ч; $N_{см}$ — сменная норма выработки рабочих бригады (одного рабочего), занятых выполнением i-й операции.

Результаты расчета уравнений множественной корреляции между каждым из рассмотренных выше показателей производительности труда и совокупностью факторов, влияющих на их величину, показали наличия высоких коэффициентов множественной корреляции. Это свидетельствует о большом соответствии динамики выделенных показателей производительности труда с динамикой совокупности основных факторов.

В качестве обобщенного показателя объема производства сварных конструкций и производительности труда в сварочных цехах заводов единичного и серийного производства может быть принята оптимизированная (приведенная) тонна сварных конструкций:

$$G_{о.т} = G_ф k_{пр} = G_ф \frac{q_i}{q_{тип}},$$

где $G_ф$ — выпуск сварных конструкций в традиционном измерителе — физических тоннах; $k_{пр}$ — коэффициент перевода выпуска сварных конструкций $G_ф$ (в физических тоннах) в оптимизированные $G_{о.т}$ (приведенные) тонны;

$$k_{пр} = \frac{q_i}{q_{тип}},$$

где q_i — нормативная трудоемкость изготовления i-го сварного изделия; $q_{тип}$ — нормативная трудоемкость изготовления сварного изделия, принятого за типовой представитель определенной совокупности сварных конструкций, изготовляемых сварочным цехом.

16. Зависимость оптимизированного показателя производительности труда при производстве заготовок от их конструктивно-технологических параметров (заготовка — лист толщиной 6 м)

$G_{пр.\,(о.\,т)} = 0{,}0006 + 0{,}005 l_{max} + 0{,}00009 n - 0{,}024 G_ф - 0{,}004 t_i + 0{,}057 T + 0{,}010 q_i$; $R_м = 0{,}997496$

Максимальный габаритный размер l_{max}, м	Программа выпуска		Трудоемкость, нормо-часы			Коэффициент приведения $K_{пр}$	Показатель производительности труда $G_{пр}$ ($G_{о.т}$), т
	n, шт.	$G_ф$, т	одной заготовки t_i	годовой программы T	одной тонны q_i		
1,3	36	1,2	0,7	25,8	21,2	1,2	1,4
2,0	12	0,8	1,1	13,4	16,2	0,9	0,7
1,4	24	1,2	0,9	22,0	17,8	1,0	1,2
1,9	30	1,4	1,1	32,9	23,3	1,3	1,8
2,0	75	5,0	1,1	79,6	15,9	0,9	4,5

17. Зависимость оптимизированного показателя производительности труда при изготовлении сварных узлов от их конструктивно-технологических параметров

$G_{пр} = 1{,}113 l_{max}^{-0{,}0002} n^{0{,}0002} G_ф^{1{,}061} T^{-0{,}043} q_i^{0{,}023} K_{пр}^{1{,}032} G_{н.м}^{-0{,}001} t_{шв}^{-0{,}009}$; $R_м = 0{,}998342$

Сварочный узел — щит	Максимальный габаритный размер l_{max}, м	Программа выпуска		Трудоемкость, нормо-часы		Коэффициент приведения $K_{пр}$	Масса наплавленного металла на годовой выпуск $G_{н.м}$, кг	Длина швов *1 на годовой выпуск $l_{шв}$, м	Показатель производительности труда $G_{пр}$ ($G_{о.т}$), т
		n, шт.	$G_ф$, т	годовой программы T	одной тонны q_i				
ЩН-1	5,7	12	9,5	514,5	54,3	1,03	120,0	427,2	9,8
ЩН-3	5,4	12	9,2	486,2	52,8	1,00	118,8	426,0	9,2
ЩН-2	8,2	12	20,7	1007,6	48,6	0,92	273,6	978,0	19,0
ЩН-1	8,0	6	8,3	308,5	37,2	0,70	92,4	312,0	5,8
ЩН-2	8,6	6	11,1	421,4	38,1	0,72	112,8	402,0	8,0

*1 Длина швов, приведенных к шву, $K = 8$ мм.

За типовой представитель определенной совокупности сварных конструкций, изготовляемых сварочным цехом, целесообразно принимать q_{min}, т. е. сварную конструкцию с наименьшей трудоемкостью изготовления:

$$G_{о.т} = G_ф \frac{q_i}{q_{min}}.$$

Установлено, что трудоемкости соответствует наибольший ранг коэффициента корреляции ($R_м = 0{,}979985$). Следовательно, корректирование $G_ф$ с помощью

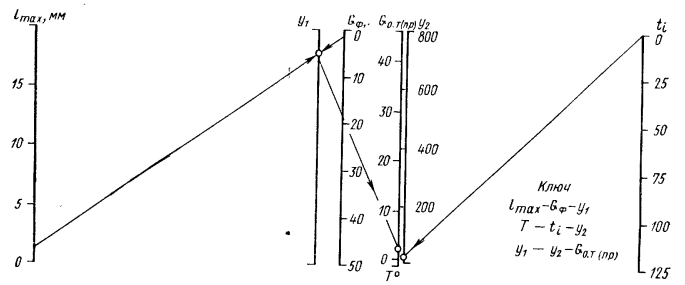


Рис. 12. Номограмма для расчета оптимизированного показателя производительности труда на заготовительной фазе производственного процесса:

$G_{о.т\,(пр)} = 0{,}005\ l_{max} - 0{,}024\ G_ф - 0{,}004 t_i + 0{,}057 T$

$k_{пр}$ дает основание принять $G_{о.т}$ за оптимизированный показатель производительности труда (измеритель объема производства сварных конструкций).

Зависимость оптимизированного показателя производительности труда от совокупности конструктивно-технологических факторов каждой фазы (стадии) производства сварных конструкций характеризуются табл. 16 и 17, а также

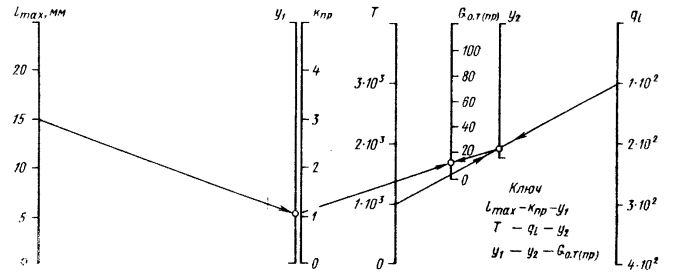


Рис. 13. Номограмма для расчета оптимизированного показателя производительности труда на сборочно-сварочной фазе производственного процесса (линейная форма):

$$\sigma_{\text{о. т (пр)}} = -0{,}038 + 0{,}016\ l_{max} + 0{,}019T - 0{,}165q_l + 8{,}695K_{пр}$$

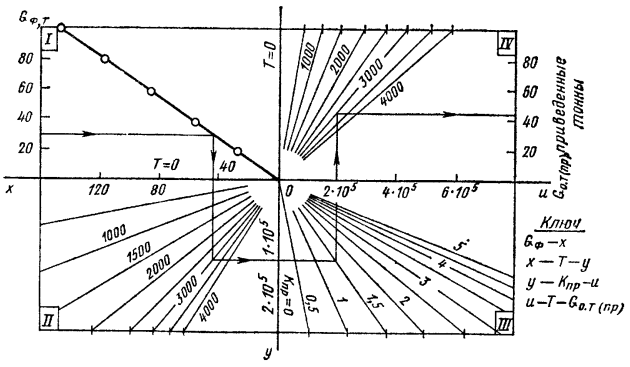


Рис. 14. Номограмма для расчета оптимизированного показателя производительности труда на сборочно-сварочной фазе производственного процесса:

$$\sigma_{\text{о.т (пр)}} = \frac{1{,}113\sigma_ф^{1{,}061}TK_{пр}^{1{,}032}}{T^{1{,}043}}$$

рис. 12—14. Составление таблицы и построение номограмм произведено на базе исследования влияния на $G_{о.т}$ габаритных размеров, числа изготовляемых в течение года заготовок, сварных деталей, узлов (конструкций), их массы, трудоемкости годовой программы (тонны наплавленного металла, 1 м сварного шва и т. д.). С помощью полученных номограмм представляется возможным пересчитать массу (в физических тоннах) $G_ф$, изготовленных сварных конструкций в оптимизированные (приведенные) тонны, а затем рассчитать в этом показателе уровень производительности труда для каждой фазы сварочного производства.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

При экономических расчетах определяют производственно-технологические показатели, характеризующие сварную конструкцию как объект производства, и эксплуатационные показатели, характеризующие ее как объект эксплуатации.

Материалоемкость проектируемой сварной конструкции

$$G_{чер} = \sum_1^m G_{ст}n_{ст} + \sum_1^m G_{сп}n_{сп} + \ldots + \sum_1^m G_н n_{св},$$

где $G_{ст}$; $G_{сп}$ — масса исходного металла (черная масса) для детали определенного наименования (типоразмера) из стали и сплавов соответствующих марок; $n_{ст}$ $n_{сп}$ — число деталей данного наименования и массы из материала определенной марки, входящих в сварную конструкцию; $n_{св}$ — число сварных деталей (узлов) данного наименования (типоразмера); m — число деталей разных наименований (типоразмеров), изготовляемых из сталей (сплавов) определенных марок; $G_н$ — масса наплавляемого металла определенного вида и марки;

$$G_{чер} = G_ч : K_{исп},$$

где $G_ч$ — масса сварной конструкции, изготовленной на данном заводе (чистая масса); $K_{исп}$ — коэффициент использования металла;

$$K_{исп} = \frac{G_ч}{G_{чер}}.$$

а) Удельная (конструктивная) материалоемкость

$$M_{уд} = \frac{G}{P},$$

где G — масса машины, поступающая в эксплуатацию (рабочая масса), т; P — наиболее характерный показатель работоспособности машины (мощность, производительность и т. д.).

б) Технологическая материалоемкость

$$M_т = \frac{G_{чер} - G_{о.п}}{P},$$

где $G_{о.п}$ — отходы и потери материалов, т (кг).

в) Материалоемкость сварной конструкции в стоимостном исчислении

$$C_м = \sum_1^m G_{ст}n_{ст}Ц_{ст} - G_{о.ст}Ц_{о.ст} + \sum_1^m G_{сп}n_{сп}Ц_{сп} - G_{о.сп}Ц_{о.сп} + \sum_1^m G_н n_{св}Ц_{нап},$$

где $Ц_{ст}$; $Ц_{сп}$; $Ц_{нап}$ — цена за единицу массы (т, кг) определенной марки стали, сплава и наплавленного металла с учетом затрат на их приобретение; $G_{о.ст}$; $G_{о.сп}$ — реализуемые отходы, т (кг); $Ц_{о.ст}$; $Ц_{о.сп}$ — цена за единицу реализуемых отходов, руб.

Трудоемкость сварной конструкции: а) общая трудоемкость сварной конструкции с учетом основных видов работ (в нормо-часах на конструкцию)

$$Q_{об}=Q_{под}+Q_{и.эл}+Q_{с.с}+Q_{отд},$$

где $Q_{под}$ — затраты времени на конструкторскую и технологическую подготовку производства; $Q_{и.эл}$ — затраты времени на изготовление элементов, входящих в сварную конструкцию (на выполнение заготовительных работ, механической и термической обработки, кузнечных, штамповочных и других работ); $Q_{с.с}$ — затраты времени на сборочные и сварочные работы; $Q_{отд}$ — затраты времени на правку, покраску и другие отделочные работы;
или

$$Q_{об}=G_{ч}Q_{ср},$$

где $Q_{ср}$ — средняя трудоемкость изготовления единицы массы существующих конструкций того же типа и назначения.

$$Q_{об}=\sum_{1}^{m} Q_{ср\,i}k_{и.т}n_i,$$

где $Q_{ср\,i}$ — средняя трудоемкость i-й детали существующей конструкции (аналогичной по назначению с проектируемой); $k_{и.т}$ — коэффициент, учитывающий изменение трудоемкости i-й детали проектируемой конструкции и аналогичной i-й детали существующей конструкции; n_i — число i-х деталей; m — число наименований аналогичных деталей в сравниваемых конструкциях;

$$m=m_{об}-m_{ст},$$

где $m_{об}$ — общее число деталей; $m_{ст}$ — крепежные и другие стандартные детали конструкции.

б) Удельная трудоемкость — трудоемкость единицы массы конструкций в нормо-часах на 1 т массы конструкции

$$Q_{ср}=\frac{Q_{об}}{G_{ч}}.$$

Коэффициент унификации сварной конструкции

$$k_{ун}=\frac{N_{ст}+N_{к.п}+N_{в.з}}{N_{об}},$$

где $N_{ст}$; $N_{к.п}$; $N_{в.з}$ — соответственно число стандартных, конструктивно-преемственных и взаимозаменяемых деталей в проектируемой конструкции: $N_{об}$ — общее число деталей в конструкции.

Более точно (с учетом трудоемкости деталей) коэффициент унификации

$$k'_{ун}=\frac{\sum_{1}^{m}N_{ст}Q_{ст}+\sum_{1}^{m}N_{к.п}Q_{к.п}+\sum_{1}^{m}N_{в.з}Q_{в.з}}{\sum_{1}^{m}N_{об}Q_{ср}},$$

где $Q_{ст}$; $Q_{к.п}$; $Q_{в.з}$ — соответственно число нормо-часов (в среднем) на изготовление единицы стандартных, конструктивно-преемственных и взаимозаменяемых деталей определенного наименования; $Q_{ср}$ — число нормо-часов (в среднем) на

изготовление детали проектируемой конструкции определенного наименования; $N_{ст}$; $N_{к.п}$; $N_{в.з}$ — соответственно число стандартных, конструктивно-преемственных и взаимозаменяемых деталей данного наименования; m — число наименований (типоразмеров) деталей; $N_{об}$ — общее число деталей в конструкции определенного наименования (типоразмера).

Коэффициент соотношения длины сварных швов и массы конструкции

$$k_{д.м}=\frac{L_{св}}{G_{ч}},$$

где $L_{св}$ — общая длина сварных швов, м.

Коэффициент соотношения массы наплавленного металла и массы конструкции

$$k_{в.м}=\frac{G_{н.м}}{G_{ч}},$$

где $G_{п.м}$ — масса наплавленного металла при выполнении сварных швов конструкции.

Коэффициенты механизации и автоматизации сварочных работ:
по протяженности швов

$$k_{м.п.ш}=\frac{L_{св.а.п}}{L_{св}};$$

по массе наплавленного металла

$$k_{м.м}=\frac{G_{н.м.а.п}}{G_{н}},$$

где $L_{св.а.п}$ — длина сварных швов, выполненных автоматической и полуавтоматической сваркой; $G_{н.м.а.п}$ — масса металла, наплавленного автоматической и полуавтоматической сваркой.

Коэффициент механизации и автоматизации заготовительных работ (операций)

$$k_{м.з}=\frac{Q_{з.м.а}}{Q_{о.з}},$$

где $Q_{з.м.а}$ — объем заготовительных механизированных и автоматизированных работ, выполняемых при изготовлении сварной конструкции (нормо-часы, чел.-часы); $Q_{о.з}$ — общий объем заготовительных работ на сварную конструкцию (нормо-часы, чел.-часы).

Стоимость сварной конструкции

$$C_{кон}=C_{с.кон}a_{усл\,(упр)},$$

где $C_{с.кон}$ — стоимость существующей конструкции, по назначению аналогичной с проектируемой; $a_{усл\,(упр)}$ — коэффициент усложнения или упрощения проектируемой конструкции по сравнению с существующей.

$$C_{кон}=C_{А.ср}N_{А\,п}+C_{Б\,ср}N_{Б.п}+\ldots+C_{К.ср}N_{К.п},$$

где $C_{А.ср}$; $C_{Б.ср}$; ...; $C_{К.ср}$ — соответственно средняя стоимость деталей $А$, $Б$, ..., $К$ наименования существующей конструкции (аналогичной проектируемой); $N_{А.п}$; $N_{Б.п}$; ...; $N_{К.п}$ — число деталей того же типа и назначения в проектируемой конструкции;

$$C_{кон}=G_{п.кон}C_{г},$$

где $G_{п.кон}$ — ориентировочная масса проектируемой конструкции; $C_{г}$ — стоимость 1 т массы готовой конструкции аналогичного назначения.

$$C_{кон}=C_{м}+З_{осн}\left(1+\frac{а}{100}+\frac{б}{100}+\frac{в}{100}\right)+\frac{C_{пр}}{N_{в}},$$

где $C_м$ — стоимость материалов, израсходованных на сварную конструкцию; $З_{осн}$ — основная заработная плата производственных рабочих с доплатами к тарифу; $а$; $б$; $в$ — соответственно процент косвенных цеховых, общезаводских и внепроизводственных расходов от $З_{осн}$; $C_{пр}$ — затраты на проектирование и освоение конструкции; $N_в$ — масштаб выпуска сварных конструкций.

$$З_{осн}=\sum_1^m Q_д q_т \gamma_{доп},$$

где $Q_д$ — трудоемкость детали определенного наименования; $q_т$ — средняя часовая тарифная ставка рабочих; $\gamma_{доп}$ — коэффициент, учитывающий доплаты к тарифу; m — число наименований деталей, входящих в сварную конструкцию.

Удельные затраты, приходящиеся на единицу массы (1 т) спроектированной сварной конструкции,

$$C_{уд}=\frac{C_{кои}}{G_ч}.$$

Дополнительные затраты на изготовление спроектированной конструкции

$$C^{*1}_{доп}=C_{кон}-C_{с.кон},$$

где $C_{с.кон}$ — затраты на изготовление существующей конструкции, по назначению аналогичной с проектируемой; дополнительные затраты, приходящиеся на единицу массы (1 т) спроектированной сварной конструкции,

$$C^{*1}_{уд.доп}=C_{уд}-C_{уд.с}.$$

Коэффициент безотказности сварной конструкции (изделия, узла)

$$K_{б.к}=\frac{m_{ср}}{T},$$

где $K_{б.к}$ — среднее число рабочих периодов, отработанных сварной конструкцией (изделием, узлом) между двумя отказами; $m_{ср}$ — средняя наработка на отказ; T — длительность рабочего (эксплуатационного) периода сварной конструкции (изделия, узла);

$$m_{ср}=\frac{1}{\lambda},$$

где λ — интенсивность отказов.

Для элементов с длительным рабочим периодом вместо λ используют термин — поток отказов $\omega(t)$; он численно представляет собой среднюю вероятность отказа элемента (узла); тогда

$$m_{ср}=\frac{1}{\omega(t)}.$$

Эргономический уровень качества сварной конструкции по выбранному критерию

$$y=\frac{k_1}{k_э},$$

где k_1 — частное значение эргономического критерия (производительность, точность, скорость и т. д.), соответствующее оцениваемому значению эргономического параметра; $k_э$ — максимальное значение эргономического критерия, принятого за эталон, соответствующее оптимальному значению эргономического параметра.

*1 При наличии этих затрат необходимо указать их целевое назначение.

При частном значении оцениваемого эргономического параметра производительности $П_1$

$$k_1=f(П_1);$$
$$k_э=f(П_{опт}),$$

где $П_{опт}$ — оптимальное значение эргономического параметра;

$$y=\frac{f(П_1)}{f(П_{опт})}.$$

Эргономический уровень качества по комплексному эргономическому критерию

$$K_к=f'(K_1;\ K_2;\ \ldots;\ K_n),$$

где $K_к$ — комплексный эргономический критерий, наиболее полно характеризующий эргономический уровень качества сварного изделия;

$$y=\frac{f'(k_1;\ k_2;\ \ldots;\ k_n)}{f'(k_{1опт};\ k_{2опт};\ \ldots;\ k_{nопт})},$$

где k_1, k_2, ..., k_n — рассматриваемые частные критерии; $k_{1опт}$; $k_{2опт}$; ...; $k_{nопт}$ — оптимальные значения этих же частных критериев.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ НА СТАДИИ РАЗРАБОТКИ (СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ И АНАЛИЗА) ВАРИАНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Экономические расчеты на стадии разработки включают определение единовременных капитальных вложений по сравниваемым вариантам технологических процессов и затрат на изготовление сварных конструкций при применении этих вариантов. Капитальные вложения (единовременные) по сравниваемым вариантам технологического процесса

$$K^{*1}_e=\sum_1^m K_{пр}+\sum_1^m K_{тр}+\sum_1^m K_{п.п}+\sum_1^m K_з+\sum_1^m K_м+\sum_1^m K_{п.к}+\sum_1^m K_д,$$

где m — соответственно число наименований (видов) производственного и подъемно-транспортного оборудования, приборов и приспособлений, модернизированного оборудования, проектно-конструкторских разработок и опытных работ, ликвидируемого оборудования; $K_{пр}$, $K_{тр}$, $K_{п.п}$, $K_з$, $K_м$, $K_{п.к}$, $K_д$ — соответственно затраты на все виды производственного оборудования, подъемно-транспортных средств и передаточных устройств, приспособлений и приборов, зданий и сооружений, модернизацию ранее приобретенного оборудования, проектно-конструкторские разработки и опытные работы; стоимость ликвидируемых основных фондов, равная величине невозмещенных через амортизацию первоначальных капитальных вложений за вычетом из нее средств от реализации ликвидированных основных фондов:

$$K_{пр}=\sum_1^m C_i c_i \quad \text{или} \quad K_{св}=\sum_1^m C_{св\,i} c_{св\,i},$$

*1 Нестандартные и специальные виды оборудования, изготовляемые самими заводами, учитываются по их нормативной стоимости с учетом плановых накоплений.

В стоимость $K_{пр}$, $K_{тр}$ и т. д. включены затраты на транспортировку и монтаж оборудования.

где $K_{пр}$; $K_{св}$ — сумма капитальных вложений соответственно во все виды оборудования и, в частности, в сварочное; C_i; $C_{св\,i}$ — стоимость единицы i-го оборудования и, в частности, i-го сварочного оборудования по ценам действующих прейскурантов; c_i; $c_{св\,i}$ — число единиц i-го оборудования и, в частности, i-го сварочного оборудования;

$$c_i = \frac{Q_i}{F_{фак}} \quad \text{или} \quad c_i = \frac{Q'_i}{F_{реж}\alpha_i\beta_i},$$

где Q_i — необходимое число машино-часов с учетом переработки норм времени для выполнения годового объема определенного рода работ (заготовительных, обрабатывающих, сборочных, сварочных и др.) с помощью i-го вида оборудования; $F_{фак}$ — фактический (эффективный) фонд времени работы единицы i-го оборудования (в машино-часах); Q'_i — то же, что и Q_i, но без учета переработки норм времени (в машино-часах); $F_{реж}$ — режимный (номинальный) годовой фонд времени работы единицы i-го оборудования (в машино-часах); α_i — средний коэффициент выполнения норм выработки на операции, осуществляемой с помощью i-го вида оборудования ($\alpha_i \approx 1{,}5 \div 2{,}0$); β_i — коэффициент использования режимного годового фонда времени i-го оборудования ($\beta_i \approx 0{,}92$—$0{,}96$, так как время простоев оборудования в плановом ремонте составляет 4—8% $F_{реж}$). Общее количество необходимого производственного оборудования по сравниваемым вариантам технологических процессов

$$c_{об} = \sum_1^m (c_{нi} + c_{пi}),$$

где m — число видов (наименований) технологического наличного или вновь приобретенного оборудования; $c_{нi}$; $c_{пi}$ — соответственно число единиц наличного и вновь приобретенного оборудования определенного назначения.

$$K_{тр} = \sum_1^m C_{тр\,i} c_{тр\,i},$$

где m — число наименований транспортных средств; $C_{тр\,i}$ — стоимость единицы транспортных средств i-го наименования; $c_{тр\,i}$ — число единиц транспортных средств i-го наименования.

Число единиц транспортных средств прерывного действия

$$c_{тр.\,п} = \frac{Q_{сут}}{P_{сут}},$$

где $Q_{сут}$ — суточный грузопоток, т; $P_{сут}$ — суточная производительность оборудования, т;

число мостовых электрических кранов

$$c_{кр} = \frac{N_{тр} i t_ц}{F_{реж}\beta},$$

где $N_{тр}$ — число сварных конструкций (узлов, изделий), подлежащих транспортировке краном в течение года; i — среднее число крановых операций на одну конструкцию (изделие); $t_ц$ — длительность одного кранового цикла; β — коэффициент использования режимного фонда времени крана.

Ориентировочное число средств непрерывного транспорта или конвейеров

$$c_{кон} = \frac{Q_ч}{P_ч},$$

где $Q_ч$ — часовой грузопоток, т; $P_ч$ — часовая производительность конвейера, т.

Соответственно капитальные вложения в приспособления и приборы

$$K_{прис} = \sum_1^m C_{i\,прис} c_{i\,прис};$$

$$K_{приб} = \sum_1^m C_{i\,приб} c_{i\,приб},$$

где m — число типоразмеров (наименований) приспособлений или приборов; $C_{i\,прис}$; $C_{i\,приб}$ — стоимость единицы приспособления или прибора i-го типоразмера; число приспособлений данного типоразмера

$$c_{i\,прис} = \frac{N_{пр\,i} t_{пр}}{F_{реж}},$$

где $N_{пр\,i}$ — количество продукции, обрабатываемой с применением приспособления i-го типоразмера; $t_{пр}$ — время занятости приспособления для изготовления единицы продукции. Капитальные вложения в здания

$$K_з = V_з C_м,$$

где $V_з$ — объем зданий, м^3; $C_м$ — стоимость 1 м^3 здания, руб.

Затраты на проектно-конструкторские разработки и опытные работы определяют по утвержденным сметам.

Производительность машин и оборудования, используемых для выполнения вариантов технологических процессов, определяется по формулам, специфичным для каждого типа оборудования, предназначенного для выполнения заготовительных, сборочно-сварочных и других работ, характерных для сравниваемых вариантов. Комплексный технологический процесс изготовления сварных конструкций осуществляется с помощью заготовительного, обрабатывающего, сборочно-сварочного, транспортного и другого вида машин. Производительность того или иного вида машин определяется по формулам, специфичным для каждого из них.

Затраты, связанные с работой оборудования, используемого для выполнения сравниваемых вариантов технологических процессов,

$$C_{обор} = \sum_1^m C_{ai} + C_{pi} + C_{с.\,эi} + C_{иi} + C_{пр\,i} + C_{всп\,i} + З_{всп\,i} + C_{зi},$$

где m — число наименований оборудования, требуемого для выполнения того или иного варианта технологического процесса; C_{ai} — амортизационные отчисления по оборудованию i-го наименования; $C_{р.\,i}$ — затраты на текущий ремонт оборудования i-го наименования; $C_{с.\,эi}$ — затраты на силовую электроэнергию, потребляемую оборудованием i-го наименования; $C_{иi}$; $C_{пр.\,i}$ — затраты, связанные с эксплуатацией инструмента и приспособлений оборудования i-го наименования; $C_{всп\,i}$ — затраты на смазочные, обтирочные и другие вспомогательные материалы, используемые при эксплуатации оборудования i-го наименования; $З_{всп\,i}$ — заработная плата вспомогательных рабочих, обслуживающих оборудование; $C_{з.\,i}$ — затраты на содержание зданий, приходящиеся на оборудование i-го наименования.

$$C^{*1}_{ai} = \frac{\sum_1^m (K_п + K_{р.\,м})\, c_п a_н K_{зп}}{100 N_г},$$

*1 При определении амортизационных отчислений по заготовительному, обрабатывающему, сборочно-сварочному оборудованию следует использовать «Нормативы амортизационных отчислений по основным фондам народного хозяйства СССР», утвержденные постановлением Совета Министров СССР от 14 марта 1974 г. (введены для использования с 1 января 1975 г.).

где m — число типоразмеров оборудования i-го наименования; $K_п$ — балансовая стоимость оборудования n-го типоразмера; $K_{р.м}$ — затраты на капитальный ремонт и модернизацию оборудования n-го типоразмера; $c_п$ — число единиц оборудования n-го типоразмера; $a_н$ — норма (процент) годовых амортизационных отчислений; $K_{з.п}$ — коэффициент занятости оборудования n-го типоразмера; $N_г$ — годовая программа запланированных к изготовлению сварных конструкций. Амортизационные отчисления по оборудованию, по которому отсутствуют утвержденные нормы амортизации,

$$C_{ai\text{о}} = \frac{(K_j - K_{\text{ост}\,j})\, c_j k_{зj}}{T_{aj} N_г},$$

где K_j, $K_{\text{ост}\,j}$ — балансовая и остаточная стоимость i-го наименования оборудования j-го типоразмера; c_j — число единиц оборудования j-го типоразмера; $k_{з.j}$ — коэффициент занятости i-го оборудования j-го типоразмера; T_{aj} — амортизационный период оборудования j-го типоразмера. Затраты на текущий ремонт и модернизацию i-го оборудования

$$C_{pi} = \sum_1^m \frac{(R_п K_{рп} + K_{мп})\, C_п K_{зп}}{T_{цп} N_г},$$

где $R_п$ — группа ремонтной сложности оборудования n-го типоразмера; $K_{рп}$ — общая сумма затрат на все виды ремонтов и межремонтного обслуживания за ремонтный цикл, приходящаяся на единицу ремонтной сложности оборудования n-го типоразмера; $K_{мп}$ — затраты на модернизацию единицы оборудования n-го типоразмера за один ремонтный цикл; $T_{цп}$ — длительность ремонтного цикла оборудования n-го типоразмера. Затраты на силовую электроэнергию i-го наименования оборудования (при укрупненных расчетах)

$$C_{с.\,эi} = \sum_1^m \frac{M_п k_{з.\,д} k_{з.\,м} k_{о.\,р} k_{п.\,э} t_в Ц_э}{\eta_п k_{в.\,н}},$$

где m — число типоразмеров оборудования i-го наименования; $M_п$ — суммарная установленная мощность электродвигателей оборудования n-го типоразмера (определяется по паспортам оборудования); $k_{з.\,д} \approx 0{,}4 \div 0{,}8$ — коэффициент загрузки двигателей оборудования n-го типоразмера; $k_{з.\,м}$ — коэффициент загрузки по мощности электродвигателей оборудования n-го типоразмера; $k_{о.\,р}$ — коэффициент одновременности работы двигателей оборудования n-го типоразмера; $k_{п.\,э} \approx \approx 1{,}04 \div 1{,}08$ — коэффициент, учитывающий потери электроэнергии в сети; $t_в$ — норма времени на выполнение операций технологического процесса; $Ц_э$ — стоимость 1 кВт-ч электроэнергии (по данным заводов); $\eta_п$ — средний КПД электродвигателей оборудования n-го типоразмера; $k_{в.\,н}$ — коэффициент выполнения норм времени. Затраты, связанные с эксплуатацией инструмента i-го наименования,

$$C_{иi} = \sum_1^m C_{и\,п},$$

где m — число типоразмеров инструментов i-го наименования; $C_{и\,п}$ — общая сумма затрат, связанных с эксплуатацией инструмента n-го типоразмера (по заводским данным). Затраты, связанные с эксплуатацией приспособлений i-го наименования,

$$C_{пi} = \sum_1^m \frac{(C_{п\,п} k_п - C_{с\,п})\, c_п k_{з\,п}}{T_{а\,п} N_г},$$

где m — число типоразмеров приспособления i-го наименования; $C_{п\,п}$ — балансовая стоимость приспособления n-го типоразмера; $k_п$ — коэффициент, учитывающий затраты на ремонт приспособлений n-го типоразмера (по ориентировочным заводским данным для сварочных цехов $k_п \approx 0{,}2 \div 0{,}4$); $C_{с\,п}$ — стоимость списанного приспособления n-го типоразмера; $c_п$ — число единиц приспособлений (в комплекте) n-го типоразмера; $k_{з\,п}$ — коэффициент занятости приспособления n-го типоразмера; $T_{а\,п} \approx 2 \div 4$ года — амортизационный период n-го типоразмера приспособления. Затраты на смазочные и обтирочные материалы, используемые при эксплуатации оборудования i-го наименования,

$$C_{всп\,i} = \frac{\sum_1^m C_{всп\,п} c_п k_{з\,п}}{N_г},$$

где m — число типоразмеров оборудования i-го наименования; $C_{всп\,п}$ — годовые затраты на вспомогательные материалы, расходуемые единицей оборудования n-го типоразмера (по данным заводов); $c_п$ — число единиц оборудования n-го типоразмера; $k_{з\,п}$ — коэффициент занятости оборудования n-го типоразмера. Заработная плата вспомогательных рабочих, обслуживающих оборудование,

$$З_{всп} = Ч_{ср.\,т}^{*1} t_{обсл} k_{доп},$$

где $Ч_{ср.\,т}^{*1}$ — среднечасовая тарифная ставка рабочих; $t_{обсл}$ — время, затрачиваемое рабочим на обслуживание оборудования, ч; $k_{доп}$ — коэффициент, учитывающий доплаты к тарифной заработной плате (по общепринятым для машиностроительных заводов данным). Затраты по содержанию зданий, приходящиеся на оборудование i-го наименования,

$$C_{з\,i} = \frac{\sum_1^m F_{пр\,п} k_{з\,п} c_п C_{ср.\,год} k_{д\,п}}{N_г},$$

где $F_{пр\,п}$ — производственная площадь (в плане), занимаемая оборудованием n-го типоразмера, м^2; $k_{д\,п}$ — коэффициент, учитывающий дополнительную площадь; $C_{ср.\,год}$ — среднегодовые затраты на содержание зданий, приходящиеся на 1 м^2 площади сварочного цеха (при односменной работе $C_{ср.\,год} = 7{,}0$ р., при двухсменной 10,0 р. и при трехсменной — 12,0 р.). Величина $C_{обор}$ (i-го наименования или типоразмера оборудования) при укрупненных расчетах может быть определена по стоимости машино-часа или машино-смены ($C_{м\text{-}ч\,i}$ или $C_{м\text{-}с\,i}$):

$$C_{м\text{-}ч\,i} = C_{м\text{-}ч.\,баз} k_{м\text{-}ч\,i}$$

или

$$C_{м\text{-}с\,i} = C_{м\text{-}с.\,баз} k_{м\text{-}с\,i},$$

где $C_{м\text{-}ч\ баз}$; $C_{м\text{-}с\ баз}$ — соответственно стоимость машино-часа, машино-смены работы оборудования, принятого за условную единицу (базу); $k_{м\text{-}ч\,i}$; $k_{м\text{-}с\,i}$ — коэффициенты, показывающие, во сколько раз затраты $C_{м\text{-}ч\,i}$ или $C_{м\text{-}с\,i}$, приходящиеся на 1 ч (смену) работы данного i-го вида оборудования, больше или меньше $C_{м\text{-}ч\ баз}$ или $C_{м\text{-}с\ баз}$.

Затраты на основные материалы (листовой и профильный прокат, заготовки и т. д.), расходуемые по сравниваемым вариантам технологических процессов изготовления единицы сварной конструкции (детали, узла),

$$C_м = \sum_1^b H_i Ц_i k_i - g_{oi} Ц_{o\,i},$$

*1 Тарифные ставки, установленные на основе постановления ЦК КПСС, Совета Министров СССР и ВЦСПС 12/XII 1972 г. № 842.

где b — число наименований или марок материалов, используемых при изготовлении сварных конструкций; H_i — норма расхода материала i-й марки (i-го наименования); $Ц_i$ — оптовая цена материалов i-й марки (i-го наименования); k_i — коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы при приобретении материала i-го наименования (ориентировочно может быть принят 1,05—1,08); g_{oi} — реализуемые отходы материала i-го наименования; $Ц_{oi}$ — цена отходов материала i-го наименования.

Затраты на вспомогательные материалы технологического назначения

$$C_{всп.м}=C_{эл}+C_{э.п}+C_{пр.м}+C_г+C_{эл.м}+C_ф,$$

где $C_{эл}$; $C_{э.п}$; $C_{пр.м}$; $C_г$; $C_{эл.м}$; $C_ф$ — затраты соответственно на электроды, электродную проволоку, присадочные материалы, газ (защитный и горючий), электродный материал, флюсы.

$$C_{эл}=\sum_1^{b_{эл}} q_{i\,эл}Ц_{i\,эл},$$

где $b_{эл}$ — число наименований и типоразмеров электродов; $q_{i\,эл}$ — масса наплавленного металла электродом i-го наименования и типоразмера; $Ц_{i\,эл}$ — цена за 1 кг электрода i-го наименования и типоразмера;

$$q_{i.\,эл}=\sum_1^m \frac{q_{эл.н}}{k_{пер}}(1+k_э),$$

где m — число наименований деталей (узлов), входящих в сварную конструкцию; $q_{эл.н}$ — масса наплавленного металла (определенного состава) на i-ю деталь(узел); $k_{пер}$ — коэффициент перехода металла электродов в сварной шов. С учетом потерь на угар, разбрызгивание и огарки $k_{пер}$ принимают равным: 0,65—0,75 для электродов с тонким покрытием; 0,80—0,90 с толстым покрытием; 0,95—0,98 для присадочной проволоки при сварке (газовой и дуговой) в углекислом газе и аргоне; 0,92—1,00 для электродной проволоки при автоматической сварке под флюсом; $k_э$ — коэффициент, характеризующий отношение массы электродного покрытия к массе электродной проволоки; определяют по паспортным данным электродов, а при ориентировочных расчетах принимают $k_э = 0{,}4$.

Цены $Ц_{эл}$ на электроды принимают по действующим прейскурантам оптовых цен, к которым прибавляют затраты на их приобретение;

$$C_{э.п}=\sum_1^{b_{э.п}} q_{i\,э.п}Ц_{i\,э.п},$$

где $b_{э.п}$ — число наименований и типоразмеров электродной проволоки; $q_{i\,э.п}$ — масса наплавленного металла электродной проволоки i-го наименования и типоразмера; определяют по формуле (4); $Ц_{i\,э.п}$ — цена за единицу массы (1 кг) электродной проволоки i-го наименования и типоразмера по действующим прейскурантам оптовых цен с учетом затрат на ее приобретение.

$$C_{пр.м}=\sum_1^{b_{пр.м}} q_{i\,пр.м}Ц_{i\,пр.м},$$

где $b_{пр.м}$ — число наименований и типоразмеров присадочной проволоки (материала); $q_{i\,пр.м}$ — расход присадочной проволоки i-го наименования и типоразмера, кг; $Ц_{i\,пр.м}$ — цена за единицу массы (за 1 кг) присадочной проволоки

(материала) i-го наименования и типоразмера по прейскурантам оптовых цен с учетом затрат на ее приобретение;

$$C_г=\sum_1^{b_г} q_{iг}Ц_{iг},$$

где $b_г$ — количество видов газа, используемых при изготовлении сварной детали (узла); $q_{iг}$ — расход i-го газа данного вида на сварную деталь (узел); при газовой сварке и резке его определяют исходя из технологических режимов и норм расхода; $Ц_{iг}$ — цена за единицу газа i-го вида; принимают по действующим прейскурантам оптовых цен с учетом затрат на его приобретение.

$$C_{эл.м}=\sum_1^{b_{эл.м}} q_{i\,эл.м}Ц_{i\,эл.м},$$

где $b_{эл.м}$ — число наименований электродных материалов, потребляемых при сварке деталей (узла); $q_{i\,эл.м}$ — расход электродного материала i-го наименования, г на 1000 стыков, точек или метров шва; $Ц_{i\,эл.м}$ — цена за единицу массы электродного материала i-го наименования по действующим прейскурантам оптовых цен с учетом затрат на их приобретение

$$C_ф=\sum_1^{b_ф} q_{iф}Ц_{iф},$$

где $b_ф$ — число наименований марок флюсов; $q_{i\,ф}$ — масса израсходованного флюса i-й марки; $Ц_{i\,ф}$ — цена за единицу массы (1 кг) флюса i-й марки по действующим прейскурантам оптовых цен с учетом затрат на его приобретение.

Расход флюса для автоматической и полуавтоматической дуговой сварки определяют исходя из количественного соотношения флюсов $q_ф$ и электродов $q_э$. Расход сжатого воздуха, охлаждающей воды и т. п. определяют по техническим характеристикам выбранного заготовительного, обрабатывающего и сварочного оборудования с учетом степени их загрузки.

Затраты на электроэнергию для технологических целей

$$C_{э.т}=\sum_1^{b} q_{iэ}Ц_{iэ},$$

где b — число операций технологического процесса (или число стыков элементов), требующихся для осуществления расхода электроэнергии; $q_{iэ}$ — количество электроэнергии, израсходованной на 1 кг наплавленного металла при выполнении i-й операции (при сварке i-го стыка, детали и т. д.); $Ц_{iэ}$ — цена за единицу израсходованной электроэнергии по тарифам, утвержденным на электроэнергию. Удельный расход электроэнергии (кВт·ч) на 1 кг наплавленного металла при дуговых способах сварки

$$q'_э=\frac{U}{\alpha_н\eta\beta_в},$$

где U — напряжение на дуге, В (задается режимами сварки); $\alpha_н$ — коэффициент наплавки, г/(А·ч) (приводится в паспорте электродного материала); η — КПД установки; $\beta_в$ — коэффициент, учитывающий время горения дуги в общем времени сварки. Расход электроэнергии на сварку 100 точек (серийными машинами)

$$q_{э.точ}=\frac{M_{ном}\cos\varphi U^2_{св}}{36U^2_н}t_в,$$

где $M_{ном}$ — номинальная мощность, кВА; $U_{св}$ — вторичное напряжение холостого хода ступени, принятой для сварки, В; $U_н$ — вторичное напряжение холостого хода на номинальной ступени (предпоследней), В; $\cos\varphi$ — коэффициент мощности всей машины; для стационарных машин переменного тока типа МТП можно принимать 0,45—0,55, а для подвесных машин типа МТПГ 0,75—0,85; $t_в$ — время включения машины при сварке 1000 точек. Расход электроэнергии при шовной сварке (кВт-ч/м)

$$q_{э.м}=\frac{M_{ном}\cos\varphi U_{св}^2}{60vU_н^2}\beta_в,$$

где $\cos\varphi = 0{,}60 \div 0{,}70$ для машин типа МТП; $\beta_в = 0{,}5$ — при сварке низкоуглеродистых сталей; v — линейная скорость сварки. Расход электроэнергии при стыковой сварке оплавлением стальных деталей на серийных машинах (кВт·ч на стык)

$$q_{э.ст}=F_{св}П_{опл}\alpha_о,$$

где $F_{св}$ — площадь сечения свариваемых деталей, см²; $П_{опл}$ — суммарный припуск на оплавление, см; $\alpha_о = 0{,}012 \div 0{,}016$ — коэффициент.

Заработная плата производственных рабочих, занятых изготовлением сварных конструкций при применении сравниваемых вариантов технологических процессов,

$$З_{п.р}=\sum_1^m З_{оi}+З_{дi}+О_{соцi}=\sum_1^m r_{ср\,i}t_i\left(1+\frac{k_д}{100}\right)+$$
$$+\left[r_{ср\,i}t_i\left(1+\frac{k_д}{100}\right)\right]\frac{k_{отч}}{100},$$

где m — число операций, составляющих технологический процесс; $З_{оi}$ — основная заработная плата (по тарифу) производственных рабочих, выполняющих i-ю операцию; $З_{дi}$ — дополнительная заработная плата, приходящаяся на i-ю операцию; $О_{соцi}$ — отчисления в социальное страхование, приходящиеся на i-ю операцию; $r_{ср\,i}$ — средняя часовая тарифная ставка производственных рабочих, выполняющих i-ю операцию бригадой из двух-трех рабочих и более разных разрядов; за $r_{ср\,i}$ принимают средневзвешенную величину часовых тарифных ставок; t_i — норма времени на i-ю операцию; $k_д \approx 10 \div 12\%$ — процент, который составляет дополнительная заработная плата от основной заработной платы; $k_{отч} \approx \approx 6 \div 8\%$ — процент, который составляют отчисления в фонд социального страхования от суммы основной и дополнительной заработной платы.

Затраты на топливо для технологических целей (на нагрев, термическую обработку и т. д.)

$$С_{т.т}=\sum_1^m q_{тi}Ц_т,$$

где m — число операций технологического процесса, выполнение которых связано с затратами топлива; $q_{тi}$ — расход топлива на деталь (узел, изделие) при выполнении i-й операции; $Ц_т$ — цена на топливо (мазут, природный газ по прейскурантам оптовых цен с учетом транспортно-заготовительных расходов);

$$q_{mi}=q_{час\,i}k_{н.ср}k_{пот},$$

где $q_{час\,i}$ — среднечасовой расход топлива при выполнении i-й операции; $k_{н.ср}$ — коэффициент, учитывающий среднюю неравномерность загрузки печи; $k_{пот}$ — коэффициент, учитывающий потери топлива.

Общецеховые расходы

$$Р_{цех}=\sum_1^m Ч_{т\,n}k_{р.б}t_n k_{цех},$$

где m — число операций технологического процесса; $Ч_{т.n}$ — часовая тарифная ставка основных производственных рабочих, занятых выполнением n-й операции; $k_{р.б}$ — коэффициент, учитывающий число рабочих в бригаде, выполняющих n-ю операцию; t_n — норма времени на n-ю операцию; $k_{цех} \approx 0{,}8$ — коэффициент, учитывающий соотношение общецеховых расходов и основной заработной платы основных производственных рабочих.

Общая сумма затрат на изготовление сварной конструкции при применении каждого из сравниваемых технологических процессов

$$С_{с.к}=С_м+С_{всп.м}+З_{п.р}+С_{т.т}+С_{обор}+Р_{цех}.$$

Планируемое (фактическое) снижение себестоимости от внедрения новой технологии (механизации и автоматизации)

$$\Delta С_i=(С_{пр}-С_i)\,N_{ri},$$

где $\Delta С_i$ — планируемое снижение себестоимости (прирост прибыли) в i-ом году, руб.; $С_i$, $С_{пр}$ — соответственно себестоимости изготовления единицы сварной конструкции (узла, детали, заготовки) в i-ом планируемом году и году, предшествующем внедрению новой технологии (механизации и автоматизации), руб.; N_{ri} — объем производства в i-ом планируемом году, в натуральных единицах.

Условие целесообразности применения разработанного технологического процесса в сравнении с базовым

$$V_{раз}N_г+f_{раз} \leqslant V_{баз}N_г+f_{баз},$$

где $V_{раз}$, $V_{баз}$ — переменные затраты на единицу продукции по сравниваемым вариантам; $f_{раз}$; $f_{баз}$ — условно-постоянные расходы по сравниваемым вариантам; $N_г$ — годовое программное задание.

Программное задание, при котором сравниваемые варианты технологических процессов одинаково экономичны,

$$N_{о.э}=\frac{f_{раз}-f_{баз}}{V_{баз}-V_{раз}}.$$

Если при $N > N_{о.э}$ себестоимость годового выпуска $С_г = vN + f$ при базовом варианте увеличивается на бо́льшую величину, чем при разработанном варианте, то применение последнего является более целесообразным; и, наоборот, при $N < N_{о.э}$ более целесообразно применение существующего (базового) варианта.

При $N_{год.раз} > N_{год.баз}$ корректирование производится по формулам

$$Р_{уд.раз}=\frac{Р_{год.баз}}{N_{год.раз}}$$

или

$$Р_{уд.раз}=Р_{уд.баз}\frac{N_{год.баз}}{N_{год.раз}}=\frac{Р_{уд.баз}}{k_{изм}},$$

где $Р_{уд.раз}$; $Р_{уд.баз}$ — удельная величина условно-постоянных накладных расходов по разработанному и базовому вариантам; $Р_{год.баз}$ — сумма годовых условно-постоянных накладных расходов по базовому варианту; $N_{год.раз}$; $N_{год.баз}$ —

годовой объем производства по разработанному и базовому вариантам. Коэффициент изменения объема производства

$$k_{изм}=\frac{N_{год.\ раз}}{N_{год.\ баз}}.$$

Корректированная себестоимость сварной конструкции по базовому варианту технологического процесса

$$C_{кор.\ баз}=C_{баз.\ пр}\frac{N_{год.\ раз}}{N_{год.\ баз}}+(C_{баз.\ н}+\Delta C_{баз.\ н})P_{год.\ баз},$$

где $C_{баз.\ пр}$; $C_{баз.\ н}$ — годовые текущие расходы по базовому варианту, изменяющиеся соответственно пропорционально и непропорционально объему производства; $\Delta C_{баз.\ н}$ — увеличение затрат при росте объема производства; $P_{год.\ баз}$ — условно-постоянные накладные расходы по базовому варианту.

Годовая экономия и экономический эффект от применения разработанного варианта технологического процесса

$$Э_с=(C_{ед.\ баз}-C_{ед.\ раз})N_{год.\ раз},$$

где $C_{ед.\ баз}$; $C_{ед.\ раз}$ — себестоимость единицы сварной конструкции (узла, детали, заготовки) по базовому и разработанному вариантам технологического процесса;

$$C_{пр}=C+E_нK$$

или

$$C_{пр}=T_нC+K,$$

где $C_{пр}$ — приведенные затраты, руб; C — себестоимость продукции по данному варианту, руб. год: K — единовременные капитальные вложения по тому же варианту; $T_н$, $E_н$ — нормативные значения срока окупаемости единовременных капитальных вложений ($T_{ок}$) и коэффициента сравнительной экономической эффективности по разработанному варианту (E);

$$Э_г=(C_{баз}+E_нK_{баз})-(C_{раз}+E_нK_{раз}),$$

где $C_{баз}$, $C_{раз}$ — себестоимости продукции соответственно по базовому и разработанному вариантам технологии, руб./год; $K_{баз}$, $K_{раз}$ — единовременные капитальные вложения соответственно по базовому и разработанному вариантам технологии, руб.;

$$Э_{г.\ уд}=[(C_{ед.\ баз}+E_нK_{ед.\ баз})-(C_{ед.\ раз}+E_нK_{ед.\ раз})]N_{год.\ раз},$$

где $Э_{г.\ уд}$ — годовой экономический эффект при использовании удельных показателей себестоимости продукции и единовременных капитальных вложений; $C_{ед.\ баз}$; $C_{ед.\ раз}$ — себестоимость единицы продукции по базовому и разработанному варианту технологического процесса; $K_{ед.\ баз}$; $K_{ед.\ раз}$ — удельные капитальные вложения на единицу продукции по базовому и разработанному технологическому процессу.

Срок окупаемости единовременных капитальных вложений

$$T_{ок}=\frac{K_{раз}-K_{баз}}{C_{баз}-C_{раз}}\leqslant T_н.$$

Коэффициент сравнительной экономической эффективности

$$E=\frac{C_{баз}-C_{раз}}{K_{раз}-K_{баз}}\leqslant E_н.$$

Нормативный срок окупаемости $T_н$ принимают равным 6,6 года, а нормативный коэффициент сравнительной экономической эффективности $E_н$ равной соответственно 0,15 (при высоких темпах развития технологических процессов сварки $T_н$ принимают равным 3 года и $E_н\approx 0{,}33$).

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ, ИЗГОТОВЛЕНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Рассмотрим дополнительные экономические расчеты (не получившие отражение в разделах, приведенных выше) ввиду непосредственного отношения их к машинам и оборудованию. Такие показатели, как материалоемкость $G_{чер}$, трудоемкость $Q_{об}$, коэффициент унификации $k_{ун}$, коэффициенты механизации и автоматизации $k_{м.\ п.\ ш}$; $k_{м.\ м}$; $k_{м.\ з}$, себестоимость изготовления сварных конструкций (узлов, деталей, заготовок); затраты, связанные с работой разрабатываемых машин и оборудования; заработная плата и другие показатели могут быть определены по приведенным выше формулам.

Производительность машины $П_м$ определяется каждый раз по формулам, характерным для того или иного вида машин и оборудования.

Коэффициент полезного действия КПД характеризует соотношение между потерями энергии в рабочем процессе и динамической цепи машины и общей величиной потребляемой ею энергии. Чем больше КПД, тем с большей отдачей работает машина, тем она экономичнее.

Коэффициенты долговечности и надежности машины

$$Д_{м1}=\frac{F_{б.\ ф}}{F_{ном}};\quad Д_{м2}=\frac{Q_{р.\ с}}{Q_{общ}};$$

$$Д_{м3}=\frac{\sum_{1}^{m}q_in_i}{q_{общ}};\quad Д_{м4}=\frac{C_{р.\ р}}{C_м},$$

где $D_{м1}$, $D_{м2}$, $D_{м3}$, $D_{м4}$ — соответственно коэффициенты, характеризующие долговечность машины по соотношению; а) времени $F_{б.\ ф}$ безотказного функционирования ее и номинального фонда времени $F_{ном}$; б) трудоемкости $Q_{р.\ с}$ режимов за весь срок службы машины и общей трудоемкости $Q_{общ}$ ее; в) массы $\sum_{1}^{m}q_in_i$ используемых при ремонте сменных деталей (частей) за весь период службы машины и общей массы $q_{общ}$ ее; г) затраты $C_{р.\ р}$ на ремонт за весь период эксплуатации машины и стоимости $C_м$ ее; m — число наименований (типоразмеров) сменных деталей (частей), использованных при ремонте машины; q_i — масса i-й сменной детали (части); n_i — число сменных деталей (частей) i-го наименования (типоразмера).

Средняя наработка на отказ

$$F_{н.\ о}=\frac{F_{б.\ ф}}{O_{отк}},$$

где $O_{отк}$ — число отказов по причинам, связанным с недостаточной надежностью машины.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ПРИ ОЦЕНКЕ УРОВНЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСНОВНЫХ ФОНДОВ СВАРОЧНЫХ ЦЕХОВ И РЕНТАБЕЛЬНОСТИ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Показатели уровня использования основных фондов и рентабельности сварочного производства определяются по приведенным ниже формулам.

Фондоотдача основных фондов

$$Ф_{отд}=\frac{N_{вып}}{k_{осн}},$$

где $N_{вып}$ — годовой выпуск сварных конструкций; $k_{осн}$ — среднегодовая стоимость основных фондов, руб.

Фондоотдача производственных фондов сварочных цехов

$$\Phi_{отд.\,ц} = \frac{N_{вып}}{k_{осн} + k_{обор}},$$

где $k_{обор}$ — среднегодовая стоимость нормированных оборотных фондов, руб.

Фондоемкость сварных конструкций с учетом всех используемых при их производстве основных фондов

$$\Phi_{ем} = \frac{k_{осн}}{N_{вып}}.$$

Уровень рентабельности использования основных фондов завода:

$$P_{и.\,ф.\,з} = \frac{N_{вып.\,опт} - N_{вып.\,себ.\,з}}{k_{осн.\,з}},$$

где $N_{вып.\,опт}$ — годовой выпуск сварных конструкций в оптовых ценах; $N_{вып.\,себ.\,з}$ — годовой выпуск сварных конструкций по фактической заводской себестоимости.

Уровень рентабельности использования основных фондов сварочных цехов, образованных по предметному принципу,

$$P_{и.\,ф.\,ц} = \frac{N_{вып.\,п.\,р} - N_{вып.\,себ.\,ц}}{k_{осн.\,ц}},$$

где $N_{вып.\,п.\,р}$ — товарная продукция сварочного цеха в планово-расчетных ценах; $N_{вып.\,себ.\,ц}$ — фактическая цеховая себестоимость продукции.

Уровень рентабельности использования основных фондов сварочных цехов, производящих продукцию для других цехов завода,

$$P_{и.\,ф.\,д} = \frac{N_{вып.\,пл.\,себ} - N_{вып.\,себ.\,ц}}{k_{оси.\,ц}},$$

где $N_{вып.\,пл.\,себ}$ — выпуск продукции цехом по плановой себестоимости.

Коэффициент интенсивности использования оборудования

$$k_{и.\,и.\,о} = \frac{t_{техн}}{t_{фак}},$$

где $t_{техн}$ — техническая норма времени; $t_{фак}$ — фактически затраченное время на изготовление единицы продукции (на единицу работы)

или

$$k_{и.\,и.\,о} = \frac{N_{фак}}{N_{пл}},$$

где $N_{фак}$ — фактически изготовленная продукция за определенное расчетное время (за 1 ч, смену); $N_{пл}$ — количество продукции за то же время по плану.

Коэффициент использования оборудования по машинному времени

$$k_{маш} = \frac{t_{маш}}{t_{шт}},$$

где $t_{маш}$ — машинное время в общей норме; $t_{шт}$ — норма штучного времени.

Коэффициент экстенсивного использования оборудования

$$k_{экс} = \frac{F_{фак}}{F_{реж}},$$

где $F_{фак}$ — время, фактически отработанное оборудованием; $F_{реж}$ — время возможного использования оборудования;

$$F_{реж} = cq_{см}sD;$$

$$F_{фак} = F_{реж}(1 - k_{пр}),$$

где c — число единиц оборудования, имеющегося в цехе; s — сменность работы цеха; $q_{см}$ — средняя продолжительность рабочей смены; D — число рабочих дней в году; $k_{пр}$ — коэффициент простоя оборудования, устанавливаемый с учетом времени плановых и непредвиденных простоев (планируемые простои оборудования в сварочных цехах составляют примерно 4—12% $F_{реж}$).

Коэффициент сменности работы оборудования

$$k_{см} = \frac{c_{м1} + c_{м2} + c_{м3}}{c_{общ}},$$

где $c_{м1}$; $c_{м2}$; $c_{м3}$ — число фактически отработанных машино-смен в первой, второй и третьей сменах; $c_{общ}$ — общее число машин, которым располагает сварочный цех.

Коэффициент использования парка оборудования,

$$k_{и.\,п} = \frac{c_{ср.\,сут}}{c_{общ}},$$

где $c_{ср.\,сут}$ — среднесуточное число работающего оборудования; $c_{общ}$ — общее запланированное число оборудования, находящееся на балансе предприятия.

Плата за производственные фонды

$$П_ф = [(K_{с.\,ф} - K_{с.\,л} + K_{зап}) + (H_о + K_{с.\,з})]\,H_п,$$

где $K_{с.\,ф}$ — среднегодовая стоимость производственных фондов; $K_{с.\,л}$ — среднегодовая стоимость производственных фондов, по которым предусмотрены льготы; $K_{зап}$ — среднегодовые сверхплановые непрокредитованные банком запасы неустановленного оборудования; $H_о$ — среднегодовой норматив собственных оборотных средств; $K_{с.\,з}$ — среднегодовые сверхнормативные непрокредитованные банком запасы товарно-материальных ценностей; $H_п$ — норматив платы за фонды.

Уровни рентабельности завода, производящего сварные конструкции, предметно-замкнутых сварных цехов и цехов, производящих продукцию для других цехов завода, соответственно следующие:

$$P_з = \frac{N_{вып.\,опт.\,з} - N_{вып.\,себ.\,з.}}{K_{осн.\,з} + K_{обэр.\,з}};$$

$$P_{п.\,з} = \frac{N_{вып.\,пл.\,рас} - N_{вып.\,фак.\,себ}}{K_{осн.\,ц} + K_{обор.\,ц}};$$

$$P_д = \frac{N_{вып.\,пл.\,себ} + N_{вып.\,фак.\,себ}}{K_{осн.\,ц} + K_{обор.\,ц}},$$

где $N_{вып.\,опт.\,з}$ — годовой выпуск заводом сварных конструкций, в оптовых ценах; $N_{вып.\,себ.\,з}$ — то же, по заводской себестоимости; $K_{осн.\,з}$, $K_{осн.\,ц}$ — стоимость основных производственных фондов соответственно завода и цеха; $K_{обор.\,з}$; $K_{обэр.\,ц}$ — стоимость оборотных фондов соответственно завода и цеха; $N_{вып.\,пл.\,рас}$ — продукция сварочного цеха в планово-расчетных ценах; $N_{вып.\,пл.\,себ}$ — выпуск продукции сварочным цехом по плановой себестоимости; $N_{вып.\,фак.\,себ}$ — выпуск продукции цехом по фактической себестоимости.

Уровень рентабельности сварной конструкции

$$P_{св.\,кон} = \frac{Ц_{оп.\,отп} - C_з}{C_з}$$

или

$$P_{\text{св.кон}}=\frac{C_{\text{пл. цех}}-C_{\text{фак. цех}}}{C_{\text{фак. цех}}},$$

где $Ц_{\text{оп. отп}}$ — оптово-отпускная цена сварной конструкции; $C_{\text{з}}$ — полная заводская себестоимость сварной конструкции; $C_{\text{пл. цех}}$ — плановая цеховая себестоимость сварной конструкции; $C_{\text{фак. цех}}$ — фактическая цеховая себестоимость сварной конструкции.

Цеховая себестоимость i-й сварной конструкции

$$C_{\text{ц}i}=C_{\text{м}i}+\sum_{1}^{m}C_{\text{з}i}+C_{\text{о. ц}i},$$

где $C_{\text{м}\,i}$ — стоимость материала (заготовок, полуфабрикатов), израсходованных на i-ю сварную конструкцию; m — число производственных стадий или фаз (заготовительная, обрабатывающая, сборочно-сварочная и т. д.); $C_{\text{о. ц}i}$ — общецеховые расходы, приходящиеся на i-ю конструкцию (ее элементы). Затраты на i-ю конструкцию (входящие в нее элементы) на заготовительной стадии

$$C_{\text{з}i}=C_{\text{м. т}}+З_{\text{о. д}}+C_{\text{обор}},$$

где $C_{\text{м. т}}$ — стоимость материалов для технологических целей; $З_{\text{о. д}}$ — основная и дополнительная заработная плата производственных рабочих с отчислениями в соцстрах; $C_{\text{обор}}$ — затраты, связанные с работой оборудования.

Цеховая себестоимость 1 т сварной конструкции

$$C_{\text{т}i}=\frac{C_{\text{м}i}+\sum_{1}^{m}C_{i\text{з}}+C_{\text{о. ц}i}}{G_i},$$

где $C_{\text{т}\,i}$ — цеховая себестоимость 1 т i-й сварной конструкции; G_i — масса i-й сварной конструкции.

Цеховая себестоимость 1 т продукции, выпускаемая сварочным цехом в планируемом периоде,

$$C_{\text{т.ц}}=\frac{\sum_{1}^{m}C_{\text{м}i}n_i+\sum_{1}^{n}\sum_{1}^{m}(C_{i\text{з}}+C_{\text{о. ц}i})\,n_i}{\sum_{1}^{m}G_in_i},$$

где n — число наименований (видов или типоразмеров) сварных конструкций, предусмотренных годовым программным заданием цеха; n_i — число сварных конструкций i-го наименования на годовую программу цеха.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОБОСНОВАНИЯ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ НОВОЙ ТЕХНИКИ (РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ)

Годовой экономический эффект от производства и использования машин и оборудования, предназначаемых для изготовления сварных конструкций,

$$Э^{*1}_{\text{г. п. э}}=\left[C_{\text{пр1}}\frac{N_2}{N_1}\frac{A_{\text{р1}}+E_{\text{н}}}{A_{\text{р2}}+E_{\text{н}}}+\frac{(Э_{\text{п1}}-Э_{\text{п2}})-E_{\text{н}}(K_{\text{с2}}-K_{\text{с1}})}{A_{\text{р2}}+E_{\text{н}}}-C_{\text{пр2}}\right]N_{\text{г}},$$

*1 Практически расчет $Э_{\text{г.п.э}}$ целесообразен при оценке эффективности применения машин и оборудования, предназначенных для крупносерийного и массового производства сварных конструкций.

где $C_{\text{пр1}}$; $C_{\text{пр2}}$ — приведенные затраты на единицу продукции (сварной конструкции, узла, детали, заготовки) при применении существующей (базовой) и проектируемой машины, руб.; N_1, N_2 — годовой объем сварных конструкций (узлов, деталей, заготовок), производимых соответственно существующей (базовой) и проектируемой машиной в натуральных единицах; N_2/N_1 — коэффициент учета роста производительности спроектированной машины по сравнению с базовой; $\frac{A_{\text{р1}}+E_{\text{н}}}{A_{\text{р2}}+E_{\text{н}}}$ — коэффициент учета изменения срока службы спроектированной машины по сравнению с базовой; $A_{\text{р1}}$; $A_{\text{р2}}$ — доли отчислений от балансовой стоимости на полное восстановление (реновацию) базовой и спроектированной машины (определяются как величины, обратные срокам службы машин, устанавливаемым с учетом их морального износа); $E_{\text{н}}=0{,}15$ — нормативный коэффициент эффективности; $\frac{(Э_{\text{п1}}-Э_{\text{п2}})-E_{\text{н}}(K_{\text{с1}}-K_{\text{с2}})}{A_{\text{р2}}+E_{\text{н}}}$ — экономия потребителя на текущих эксплуатационных затратах и сопутствующих капитальных вложений за весь срок службы спроектированной машины по сравнению с базовой, руб.; $K_{\text{с1}}$; $K_{\text{с2}}$ — сопутствующие капитальные вложения потребителя по сравниваемым машинам (прибавляемые к их стоимости) в расчете на N_2, руб.; $Э_{\text{п1}}$; $Э_{\text{п2}}$ — годовые эксплуатационные затраты потребителя при применении им базовой и спроектированной машин в расчете на N_2. В этих затратах учитывается только часть амортизации, предназначенной на капитальный ремонт машин (без учета средств на их реновацию), и амортизация по сопутствующим капитальным вложениям потребителя; $N_{\text{г}}$ — годовой выпуск спроектированных машин (в расчетном году) в натуральных единицах.

Планируемое (фактическое) снижение материальных затрат в i-ом планируемом (отчетном) году в результате внедрения новой техники, руб,

$$\Delta M_i=(M_1-M_i)\,N_{\text{г}i},$$

где M_i, M_1 — материальные затраты на единицу сварной конструкции (узла, детали, заготовки) в i-ом планируемом году и году, предшествующем внедрению новой техники, руб.; $N_{\text{г}\,i}$ — объем выпуска сварных конструкций (входящих в них элементов) в i-ом году, в натуральных единицах.

Срок окупаемости капитальных вложений, планируемых на внедрение новой техники ($T_{\text{ок.н.т}}$) и дополнительных капитальных вложений ($T_{\text{ок. доп}}$),

$$T_{\text{ок.н.т}}=\frac{K_{\text{п}}}{П_{\text{п}i}};\quad T_{\text{ок. доп}}=\frac{K_{\text{доп}}}{\Delta П_{\text{п}i}},$$

где $K_{\text{п}}$; $K_{\text{доп}}$ — планируемые и дополнительные капитальные вложения в новую технику, руб.; $П_{\text{п}i}$; $\Delta П_{\text{п}\,i}$ — планируемая (абсолютная) и дополнительная (по сравнению с базовой техникой) прибыль от реализации годового объема новой техники на планируемый i-ый год, руб.

Сводный хозрасчетный эффект производства от выпуска и использования новой техники в i-ом году

$$Э_{\text{х}}=\sum\Delta П-E_{\text{н}}\sum\Delta K,$$

где $\sum\Delta П$ — прирост прибыли (снижение себестоимости) от всех мероприятий по плану новой техники в i-ом планируемом году, руб.; $\sum\Delta K$ — капитальные вложения на все мероприятия по плану новой техники i-го года, руб.

Годовой экономический эффект от производства новых сварных конструкций (или повышенного качества)

$$Э_{\text{г.н.к}}=(П_{\text{н.к}}-E_{\text{н}}K_{\text{н.к}})\,N_{\text{г.н.к}},$$

где $П_{\text{н.к}}$ — прибыль от реализации новых (или повышенного качества) сварных конструкций, руб.; $K_{\text{н.к}}$ — удельные капитальные вложения на производство

новых (или повышенного качества) сварных конструкций, руб.; $N_{г.н.к}$ — годовой выпуск новых (или повышенного качества) сварных конструкций в расчетном году в натуральных единицах;

$$П_{н.к} = П_{п2} - П_{п1},$$

где $П_{п2}$ — прибыль от реализации новых сварных конструкций (или повышенного качества); $П_{п1}$ — прибыль от реализации ранее изготовляемых сварных конструкций прежнего качества, руб.

Планируемое (фактическое) уменьшение численности работающих (условное высвобождение их в сварочных цехах, пролетах, участках) в результате внедрения новой техники

$$\Delta Ч_i = (Q_1 - Q_i)\, N_{гi}$$

или

$$\Delta Ч_i = \frac{Ц_i N_{гi}}{П_1} - \frac{Ц_i N_{гi}}{П_i},$$

где $\Delta Ч_i$ — условное высвобождение работающих в i-ом планируемом году, чел.; Q_1; Q_i — трудоемкость сварной конструкции (узла, детали, заготовки в натуральном или стоимостном выражении) до внедрения новой техники и в i-ом планируемом году; $N_{гi}$ — выпуск сварных конструкций (узлов, деталей, заготовок) в i-ом планируемом году в натуральных единицах; $Ц_i$ — оптовая цена единицы изготовляемой продукции; $П_1$; $П_i$ — производительность труда соответственно до внедрения новой техники и в i-ом планируемом году, руб./чел.

Годовой экономический эффект от использования прогрессивных видов и марок материала (основных и вспомогательных для технологических целей)

$$Э_{п.м} = \left[C_{пр1} \frac{G_{у1}}{G_{у2}} + \frac{(C_{еп1} + C_{еп2}) - E_н (K_{е2} - K_{е1})}{G_{у2}} - C_{пр2} \right] N_{г2},$$

где $C_{пр1}$; $C_{пр2}$ — приведенные затраты на единицу соответственно базового и разработанного (прогрессивного) материала (экономичных видов профильного и листового проката, сварочной проволоки, флюса и т. д.), руб.; $G_{у1}$; $G_{у2}$ — удельные расходы соответственно базового и разработанного материала в расчете на единицу продукции (сварной заготовки, детали, узла, конструкции), выпускаемой заводом-потребителем, в натуральных единицах; $C_{еп1}$; $C_{еп2}$ — затраты на единицу продукции (сварную заготовку, деталь, узел, конструкцию), выпускаемой заводом-потребителем при использовании базового и разработанного материала без учета их стоимости, руб.; $K_{е1}$; $K_{е2}$ — сопутствующие капитальные вложения завода-потребителя при использовании им базового и разработанного материала в расчете на единицу продукции, производимой с применением разработанного материала, руб.; $N_{г2}$ — годовой выпуск разработанного (прогрессивного) материала в расчетном году, в натуральных единицах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ахумов А. В.** Организация и планирование машиностроительного производства. Справочник. Л., Машиностроение, 1972. 208 с.
2. **Барташев Л. В.** Технико-экономические расчеты при проектировании и производстве машин. М., Машиностроение, 1973. 384 с.
3. **Барташев Л. В.** Организация и экономика технической подготовки производства. М., Высшая школа, 1972. 172 с.
4. **Бешелев С. Д., Гурвич Ф. Г.** Экспертные оценки в принятии плановых решений. М., Экономика, 1976. 157 с.
5. **Бро Г. Г., Шнайдман Л. М.** Методика анализа и прогнозирования производительности труда. Издательство Ленинградского университета, 1974. 67 с.
6. **Гитлевич А. Д., Животинский Л. А., Жмакин Д. Ф.** Техническое нормирование в сварочных цехах. М., Машиностроение, 1962. 164 с.
7. **Грузнов И. Н.** Освоение выпуска новых изделий. М., Машиностроение, 1976. 131 с.

8. **Маниловский Р. Г.** Производственные мощности машиностроительного завода. М., Машиностроение, 1973. 161 с.
9. **Межотраслевая** инструкция по определению производственной мощности машиностроительных и металлообрабатывающих заводов. М., НИИМАШ. 160 с.
10. **Общемашиностроительные** нормативы времени на слесарно-сборочные работы при сборке металлоконструкций под сварку. М., НИИТруда, 1968. 153 с.
11. **Общемашиностроительные** нормативы времени на электродуговую сварку. М., ЦБПНТ, 1964. 129 с.
12. **Расчеты** экономической эффективности новой техники /Г. К. Барнашева и др. Справочник. Л., Машиностроение, 1975. 432 с.
13. **Севбо П. И.** Комплексная механизация и автоматизация сварочного производства. Киев., Техника, 1974. 415 с.
14. **Справочник** нормировщика промышленного предприятия. М., Экономика, 1966. 256 с.
15. **Справочник** по сварке. Под ред. проф. В. А. Винокурова. /В. А. Винокуров, А. Д. Гитлевич, К. А. Грачева и др. М., Машиностроение, 1970. Т. 3. 504 с.
16. **Экономическая** эффективность новой сварочной техники. /В. И. Снежко, О. И. Шейко, А. М. Бречак и др. Киев, Техника, 1976. 161 с.
17. **Экономическая** эффективность использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. Методика. М., Госплан, 1977. 21 с.

Глава 16

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦЕХОВ СВАРНЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

ЗАГОТОВИТЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

В машиностроении различают следующие типы производства:

мелкосерийное и единичное, характеризуемое широкой номенклатурой изготовляемых изделий и малым объемом выпуска изделий;

серийное, характеризуемое ограниченной номенклатурой изделий, изготовляемых периодически повторяющимися партиями, и сравнительно большим объемом выпуска;

крупносерийное производство, характеризуемое установившейся номенклатурой изделий, выпускаемых в больших количествах на протяжении всего года. Строгих границ между типами производства по серийности не существует. Ориентировочные признаки, характеризующие серийность производства, приведены в табл. 1.

1. Годовой выпуск заготовок, тыс. шт.

Заготовки	Производство		
	мелкосерийное и серийное	серийное	крупносерийное
Мелкие	2,5—50	50—300	300—5000
Крупные	0,75—10	10—75	76—300

Основные справочные данные, необходимые для проектирования заготовительных и сварочных цехов машиностроительных конструкций, приведены в табл. 2—50

2. Действительный (расчетный) годовой фонд времени рабочих (при 41-часовой рабочей неделе и восьми праздничных днях в году)

Профессия рабочего	Продолжительность основного отпуска, дней	Номинальный годовой фонд рабочего, часы	Потери от номинального фонда, %	Действительный (расчетный) годовой фонд времени рабочего, часы
Вальцовщик, гибщик, правильщик, резчик, штамповщик, разметчик, сверловщик, слесарь, электрик, наладчик, кладовщик, контролер, распределитель, комплектовщик, рабочий внутризаводского транспорта	15	2070	10	1860
Грузчик, разнорабочий, оператор линий очистки металла	18	2070	11	1840
Кузнец, газорезчик, наждачник	24	2070	12	1820

Примечание. Указанный действительный годовой фонд времени не распространяется на рабочих, работающих в районах Крайнего Севера и в других местах и условиях, приравненных к этим районам.

3. Действительный (расчетный) фонд времени работы оборудования (при 41-часовой рабочей неделе и восьми праздничных днях в году), часы

Оборудование	Число смен			Оборудование	Число смен		
	одна	две	три		одна	две	три
Металлорежущее обычное и деревообрабатывающее	2030	4015	5960	Автоматические линии	—	3725	5465
Металлорежущее уникальное (станки массой более 100 т, а также станки ремонтной сложности выше 30-й категории)	—	3890	5590	Заготовительное (ножницы, вальцы и др.)	2030	4015	5960
				Прессы усилием, тс:			
				до 315	—	4015	5960
				» 800	—	3890	5650
				св. 800	—	3725	5465
				Рабочие места без оборудования	2070	4140	6210

4. Нормы плотности работ

Содержание работы	Профессия рабочего	Число рабочих на единицу оборудования в каждую смену		
		Ручная подача и съем	Ручная подача, механизированный съем	Механизированная подача и съем
Правка листового и профильного металла:				
на вальцах	Правильщик	1	1	1
	Подручный	1—2	1	—
на прессах	Правильщик	1	1	1
	Подручный	1—2	1	—
Разметка и наметка	Разметчик	1—2	1	1
Механическая резка:				
металла на ножницах и прессах	Резчик	1—2	1—2	1—2
	Подручный	1—2	1	—
металла и труб на отрезных станках	Резчик	1	0,5—1	0,5—1
Машинная гибка листового металла	Гибщик	2	1—2	—
Строгание или фрезерование кромок металла	Строгальщик или фрезеровщик	—	—	2
Газовая резка металла:				
полуавтоматическая	Газорезчик	1	1	1
	Подручный	1	1	—
автоматическая	Газорезчик	(на два — три рабочих места)		
		1	1	0,5—1
Снятие заусенцев и зачистка кромок деталей на приводном наждачном круге	Наждачник	1	1	—
Очистка и антикоррозионная обработка металла в линиях	Оператор	—	—	2
	Подсобный	—	—	2
Ручная гибка и правка деталей	Гибщик или правильщик	2	—	—
Ручная газовая резка металла	Газорезчик	1	—	—
	Подручный	1 (на три — четыре рабочих места)		

Примечание. 1. Большие значения принимают при изготовлении крупногабаритных и тяжелых деталей 2. Значение 0,5 можно принимать, когда на участке устанавливают не менее трех автоматов. 3. Прочерки в таблице означают отсутствие на данном оборудовании указанного способа подачи и съема. 4. Процент женщин к общему числу рабочих принимать 30—35.

5. Время на переналадку в % от действительного годового фонда времени работы оборудования

Оборудование	Число деталей, закрепленных за линией	
	до 10	св. 10
Автоматические линии производства заготовок из широкого рулона	—	5
Гильотинные ножницы	—	10
Прессы:		
вырубные	5	—
однокривошипные	5	10

6. Средняя производительность при резке листов на гильотинных ножницах, т/ч (крупносерийное производство)

Длина реза, мм, до	Толщина листа, мм	Ширина отрезаемой заготовки (шаг подачи), мм					
		100	200	400	600	800	1000
1000	0,5	0,15	0,30	0,55	0,8	—	—
	2,0	0,50	1,0	1,75	2,5	—	—
	3,0	0,80	1,30	2,40	3,40	—	—
	4,0	0,90	1,70	3,0	4,40	—	—
2000	0,5	0,2	0,4	0,7	1,0	1,30	—
	2,0	0,65	1,20	2,20	3,0	4,0	—
	3,0	0,90	1,65	3,0	4,40	5,50	—
	4,0	1,20	2,0	3,80	5,60	7,0	—
	6,0	1,50	2,80	5,0	7,40	9,40	—
	9,0	2,0	3,70	6,70	9,70	12,0	—
	10,0	2,20	3,90	7,20	10,0	13,0	—
3200	0,5	0,4	0,8	1,40	2,0	2,6	3,2
	2,0	1,30	2,40	4,40	6,0	8,0	9,6
	3,0	1,80	3,30	6,0	8,8	11,0	13,4
	4,0	2,30	4,0	7,6	11,2	14,0	16,0
	6,0	3,0	5,60	10,0	14,8	18,8	22,0
	9,0	4,0	7,4	13,4	19,40	24,0	29,0
	10,0	4,4	7,8	14,4	20,0	26,0	31,0
5000	0,5	0,6	1,1	2,0	2,9	3,8	5,5
	2,0	1,9	3,5	6,5	9,5	12,0	14,0
	3,0	2,5	4,9	9,0	13,0	17,0	20,0
	4,0	3,4	6,0	11,0	16,0	20,0	24,0
	6,0	4,5	8,0	14,0	20,0	26,0	30,0
	9,0	6,0	11,0	20,0	29,0	38,0	42,0
	10,0	6,5	12,0	22,0	32,0	40,0	48,0
	12,0	7,0	13,5	26,0	38,0	50,0	55,0
	16,0	9,0	17,0	33,0	47,0	60,0	70,0

Примечание. При серийном и мелкосерийном масштабах производства необходимо вводить поправочные коэффициенты 0,75 и 0,6 соответственно.

7. Нормы загрузки оборудования заготовительно-прессовых цехов и отделений

Оборудование	Допускаемый коэффициент загрузки по группе	
	средний	максимальный
Мелкие прессы	0,8	0,9
Гильотинные ножницы, правильно-гибочные машины и др.	0,8	0,9
Прочее оборудование	0,7	0,95

8. Уровень механизации и автоматизации

Отрасль промышленности	Масштабы производства, тыс. т/год	Степень охвата рабочих механизированным трудом	Уровень механизированного труда	Уровень механизации производственных процессов
		%		
Тяжелое машиностроение	До 80	89—94	50—55	68—73
	Св. 80	95—97	56—61	
Химическая	До 80	81—94	51—59	69—76
	Св. 80			
Автомобилестроение	До 100	85—90	48—54	76—82
	Св. 100			
Строительное и дорожное машиностроение	До 20	85—88	47—52	75—80
	Св. 20—50	86—91	49—54	
	Св. 50	90—94	57—62	
Электротехническая	От 30 до 70	83—92	48—54	69—74

9. Производительность труда

Отрасль промышленности	Масштаб производства, тыс. т/год	Производительность труда, т/год	
		одного работающего	одного производственного рабочего
Тяжелое и транспортное машиностроение	До 80	125—350	190—550
	Св. 80	200—900	300—1400
Химическая	До 80	100—160	155—200
	Св. 80	150—230	230—280
Автомобилестроение	До 100	110—280	320—430
	Св. 100	290—360	440—560
Строительное и дорожное машиностроение	До 20	120—143	190—220
	Св. 20 до 50	130—176	200—270
	Св. 50	182—230	280—350
Электротехническая	Св. 30 до 70	124—150	180—250

10. Коэффициенты загрузки основного оборудования и сменности его работы (при коэффициенте сменности работы рабочих 1,6—1,8)

Тип производства	Коэффициент загрузки оборудования	Коэффициент сменности оборудования
Единичное и мелкосерийное	0,7—0,8	1,8—1,9
Серийное	0,7—0,85	1,9—2
Крупносерийное	0,75—0,9	1,9—2

Примечание. Приведенные коэффициенты относятся к цехам (отделениям) с выпуском более 20 тыс. т/год

11. Удельная общая площадь на единицу оборудования (рабочее место)

Отрасль промышленности	Масштаб производства, тыс. т/год	Удельная общая площадь на единицу оборудования (рабочее место), м²
Тяжелое и транспортное машиностроение	До 80	130—180
	Св. 80	170—220
Химическая	До 80	110—140
	Св. 80	150—170
Автомобилестроение	До 100	70—80
	Св. 100	90—100
Строительное и дорожное машиностроение	До 20	90—110
	Св. 20 до 50	110—130
	Св. 50	130—160
Электротехническая	От 30 до 70	100—110

12. Удельные производственные площади на пресс

Усилие, тс	Производственная площадь на пресс, м²
Однокривошипные универсальные прессы	
До 25	15—20
40—63	25—30
100—160	35—40
Однокривошипные универсальные прессы с автоматическими подачами	
До 25	20—25
40—63	30—35
100—160	45—50
Многопозиционные пресс-автоматы	
До 40	25—30
63—400	40—50
630—1000	60—70
2000—3000	120—150

13. Нормы для расчета числа наладчиков оборудования заготовительно-прессового цеха (отделения)

Оборудование	Техническая характеристика (усилие, размеры обрабатываемой детали)	Группа сложности заготовок	Число единиц оборудования, обслуживаемого наладчиком в смену в зависимости от типа производства	
			Серийное	Крупносерийное
Прессы: механические простого действия	До 100 тс	I	12	11
		II	11	10
		III	10	8

Продолжение табл. 13

Оборудование	Техническая характеристика (усилие, размеры обрабатываемой детали)	Группы сложности заготовок	Число единиц оборудования, обслуживаемого наладчиком в смену в зависимости от типа производства	
			Серийное	Крупносерийное
Прессы:				
механические простого действия	160—400 тс	I	10	9
		II	9	8
		III	8	7
	Св. 400 тс	I	9	8
		II	8	7
		III	7	6
механические двойного действия	До 100 тс	II	9	8
		III	8	7
	160—400 тс	II	8	7
		III	7	6
	Св. 400 тс	II	7	6
		III	6	5
фрикционные	До 100 тс	I	13	12
		II	12	11
	Св. 100 тс	I	12	12
		II	11	10
чеканочные, выдавливания	До 250 тс	I	14	12
		II	13	11
		III	12	10
	Св. 250 тс	I	12	11
		II	11	10
		III	10	9
гидравлические правильные	До 100 тс	I	15	16
		II	14	15
	Св. 100 тс	I	14	15
		II	13	14
гидравлические листоштамповочные	До 100 тс	II	9	8
		III	8	7
	160—400 тс	II	8	7
		III	7	6
	Св. 400 тс	II	7	6
		III	6	5
Автоматы (листоштамповочные, холодновысадочные)	160—400 тс	I	12	11
		II	11	10
		III	10	9
	Диаметр прутка 12—16 мм	I	12	11
		II	11	10
		III	10	9
Ножницы кривошипные (листовые, сортовые, комбинированные)	При $\delta \leqslant 12$ мм ⌀ 65 мм	I	15	16
	При $\delta > 16$ мм ⌀ 100 мм	I	13	14
Комплексно-механизированные, поточные линии раскроя металла	Листовой, сортовой и профильный прокат	I	—	10 ед. оборудования линии
Газорезательное оборудование	По металлическим копирам	I	17	16
		II	16	15
	С фотоэлектронной системой копирования	I	10	9
		II	9	8
Машины:				
правильные	Все типоразмеры	I	15	16
		II	14	15
гибочные	То же	I	15	16
		II	14	15

Продолжение табл. 13

Оборудование	Техническая характеристика (усилие, размеры обрабатываемой детали)	Группа сложности заготовок	Число единиц оборудования, обслуживаемого наладчиком в смену в зависимости от типа производства	
			Серийное	Крупносерийное
Металлорежущие станки (сверлильные, фрезерные, отрезные)	Все типоразмеры	I	15	18

Примечание: 1. В нормах учтено участие производственного рабочего в процессе наладки. 2. В случае, когда наладочные работы производят без участия производственного рабочего для оборудования, обслуживаемого одним наладчиком, в зависимости от групп сложности деталей следует применять следующие поправочные коэффициенты:

0,65 для I группы сложности; 0,7 для II группы сложности; 0,6 для III группы сложности. 3. Если оборудование различных типов обслуживает один наладчик, то следует использовать поправочный коэффициент 0,85 для определения норм обслуживания. 4. В зависимости от загрузки оборудования нормы применять со следующими поправочными коэффициентами:

Загрузка оборудования в течение смены, %	40	50	60	70	80	Св. 80
Поправочные коэффициенты	2,0	1,7	1,4	1,25	1,1	1,0

14. Нормы для расчета числа стропальщиков, обслуживающих мостовые (опорные), подвесные и консольно-передвижные краны с управлением из кабины

Число кранов, установленных в пролете	Грузоподъемность крана, т	
	До 20	30 и более
1	1	2
2	2	3
3	3	4
4	4	5

Примечание: 1. При большой доле крановых операций допускается закреплять стропальщиков за кранами, управляемыми с пола. 2. Необходимое число стропальщиков по цеху, отделению следует рассчитывать для каждого пролета отдельно. 3. Если в одном пролете размещено несколько производственных подразделений, необходимое число стропальщиков рассчитывают отдельно для каждого подразделения исходя из числа кранов, закрепленных за ним.

15. Нормы для расчета числа кладовщиков-комплектовщиков, работающих на промежуточных складах

Промежуточный склад	Норма переработки грузов одним кладовщиком в смену (т) в зависимости от типа производства		
	Единичное и мелкосерийное	Серийное	Крупносерийное
Металла	50—60	60—70	80—85
Заготовок и деталей	35—45	45—60	60—70
Сварных узлов	55—60	65—75	75—80

Примечание: 1. Весь цикл работы на складах максимально механизирован. 2. Бо́льшие нормы рекомендуются при преобладании на складах толстолистового и крупносерийного проката, толстостенных труб, а также деталей и узлов из них. 3. Общую переработку грузов на складе определять по массе поступающих материалов со следующими коэффициентами грузопереработки; $k = 1$ при поступлении грузов на рабочее место, минуя промежуточный склад; $k = 2$ при поступлении-отправлении; $k = 3$ при поступлении, сортировке, отправлении; $k = 4$ при поступлении, сортировке, перетаривании, отправлении.

Для заготовительного отделения при серийном производстве число рабочих мест, обслуживаемых одним распределителем в смену, 30—40. Норму рассчитывают на доставку грузов распределителем на рабочие места, промежуточные склады и отправку готовой продукции с помощью средств механизации транспортных

передач и прогрессивного напольного транспорта. Большие значения норм применять к производственным подразделениям заготовок, деталей из толстолистового, крупносортового проката и толстостенных труб.

16. Нормы для расчета числа инженерно-технических работников (ИТР), служащих (СКП) и младшего обслуживающего персонала (МОП)

Производство	Число рабочих в отделении								
	до 150			151—300			св. 300		
	ИТР	СКП	МОП	ИТР	СКП	МОП	ИТР	СКП	МОП
Единичное и мелкосерийное	9—10	50—60	65—70	11—12	60—65	70—75	14—15	66—70	75—80
Серийное	8—9	52—56	55—60	10—11	56—60	65—70	12—14	62—66	75—80
Крупносерийное	7—8	48—52	45—50	9—10	52—56	55—60	11—13	56—60	65—70

Примечание: 1. Большие нормы рекомендуются для цехов с большим числом рабочих. 2. Нормы для МОП распространяются на уборщиков служебно-бытовых помещений и гардеробщиков.

При крупносерийном производстве функции распределителей работ выполняет сменный мастер и подсобный рабочий.

Для мостовых (опорных), подвесных и консольно-передвижных кранов с управлением из кабины, кранов-штабелеров с управлением из кабины или с нижним управлением предусматривают одного крановщика в смену на один кран.

17. Соотношение видов металлопроката при производстве сварных металлоконструкций в различных отраслях машиностроения

Отрасль промышленности	Прокат в % к общей потребности отрасли толщиной, мм							
	До 2	2—4	Св. 4 до 10	Св. 10 до 20	Св. 20 до 50	Св. 50	Профиль	Трубы
Подъемно-транспортное машиностроение	1,5	1	19	11	8,5	—	59	—
Строительное и дорожное машиностроение	3,3	11,4	28,2	17,9	12,6	1,6	20,8	4,2
Угольное и горнорудное машиностроение	2,2	32,8	19,3	19,4	2,5	0,2	20,7	2,9
Дизелестроение	25	8,1	30,3	10,2	0,2	—	24,6	1,6
Турбостроение	0,3	1,3	4,7	15,4	45,4	26,0	2,4	4,5
Металлургическое машиностроение	0,7	5,3	15,7	28,2	27,2	4,3	15,8	2,8
Химическое машиностроение	5,8	12,4	31,4	16,1	5,8	1,5	15	12
Станкоинструментальная	2,7	4,0	7,5	9,5	18,2	37,1	9	12
Электротехническая	12,9	8,2	14,4	16,3	44,2	—	2	2

Примечание. Таблица составлена по статистическим данным 160 машиностроительных заводов.

При большом объеме крановых операций допускается закреплять крановщиков за мостовыми кранами и подвесными кранами, управляемыми с пола. Число кранов, работающих во второй смене, и соответствующее число крановщиков определяют исходя из фактического количества обслуживаемого ими оборудования.

Для заготовительного отделения число производственных рабочих, обслуживаемых одним подсобным рабочим в смену, 70—80 при единичном и мелкосерийном производстве и 100—110 при серийном и крупносерийном производстве. Большие нормы рекомендуются для цехов с годовым выпуском более 50 тыс. т.

При межремонтном обслуживании оборудования за одну смену необходимо 40—55 слесарей, 180—200 смазчиков, 85—110 электрослесарей. Большие нормы применяют для оборудования со сроком службы до 10 лет. Межремонтное обслуживание крановэго оборудования — централизованное, силами ремонтного цеха. При совмещении профессий слесаря и смазчика для определения числа оборудования, обслуживаемого одним рабочим, необходимо применять коэффициент 0,8.

18. Расчет минимальных объемов производства заготовок металлоконструкций на поточных линиях в зависимости от мощности участка, цеха, блока цехов

Вид металлопроката	Производительность линии, тыс. т/год	Средняя производительность линии с учетом коэффициентов k_1 и k_2, тыс. т при производстве			Металлургическое машиностроение				Угольное и горнорудное машиностроение				Строительное и дорожное машиностроение				Подъемно-транспортное машиностроение			
		серийном	мелкосерийном	единичном	Соотношение видов металла, %	Мощность завода, тыс. т при производстве			Соотношение видов металла, %	Мощность завода, тыс. т, при производстве			Соотношение видов металла, %	Мощность завода, тыс. т, при производстве			Соотношение видов металла, %	Мощность завода, тыс. т, при производстве		
						серийном	мелкосерийном	единичном		серийном	мелкосерийном	единичном		серийном	мелкосерийном	единичном		серийном	мелкосерийном	единичном
Лист толщиной, мм:																				
до 4	5—7	6	9	9	6,0	4	6	6	35,0	17	26	26	14,7	8	12	12	2,5	1	1	1
Св. 4 до 10	7—10	8	12	12	15,7	9	13	13	19,3	10	15	15	28,2	14	21	21	19,0	8	12	12
» 10 » 20	12—16	14	21	21	28,2	17	26	26	19,4	10	15	15	17,9	9	14	14	11,0	4	6	6
» 20 » 50	18—22	20	30	30	27,2	16	24	24	1,5	1	1	1	12,6	6	9	9	8,5	3	5	5
» 50	26—34	30	45	45	4,3	2	3	3	0,2	—	—	—	1,6	1	1	1	—	—	—	—
Профильный металл	12—16	14	21	21	15,8	10	15	15	20,7	10	15	15	20,8	10	15	15	59,0	24	36	36
Трубы	8—12	10	15	15	2,8	2	3	3	2,9	2	3	3	4,2	2	3	3	—	—	—	—
Всего	—	—	—	—	100,0	60	90	90	100,0	50	75	75	100,0	50	75	75	100,0	40	60	60

Продолжение табл. 18

Вид металлопроката	Производительность линии, тыс. т/год	Средняя производительность линии с учетом коэффициента k_1 и k_2, тыс. т, при производстве: серийном	мелкосерийном	единичном	Турбостроение: Соотношение видов металла, %	Турбостроение: Мощность завода, тыс. т, при производстве: серийном	мелкосерийном	единичном	Химическое машиностроение: Соотношение видов металла, %	Химическое машиностроение: Мощность завода, тыс. т, при производстве: серийном	мелкосерийном	единичном	Станкоинструментальная промышленность: Соотношение видов металла, %	Станкоинструментальная промышленность: Мощность завода, тыс. т, при производстве: серийном	мелкосерийном	единичном	Электротехническая промышленность: Соотношение видов металла, %	Электротехническая промышленность: Мощность завода, тыс. т, при производстве: серийном	мелкосерийном	единичном
Лист толщиной, мм:																				
до 4	5—7	6	9	9	1,6	2	3	3	18,2	8	12	12	6,7	5	8	8	21,1	13	9	20
Св. 4 до 10	7—10	8	12	12	4,7	4	6	6	31,4	12	18	18	7,5	6	9	9	14,4	9	9	13
» 10 » 20	12—16	14	21	21	15,4	14	21	21	16,1	7	10	10	9,5	8	12	12	16,3	10	10	15
» 20 » 50	18—22	20	30	30	45,4	41	61	61	5,8	2	3	3	18,2	14	21	21	44,2	28	28	42
» 50	26—34	30	45	45	26,0	28	35	35	1,5	—	—	—	37,1	30	45	45	—	—	—	—
Профильный металл	12—16	14	21	21	2,4	2	3	3	15,0	6	9	9	9,0	7	10	10	2,0	—	—	—
Трубы	8—12	10	15	15	4,5	4	5	6	12,0	5	8	8	12,0	10	15	15	15	2,0	—	—
В с е г о	—	—	—	—	100,0	90	135	135	100,0	40	60	60	100,0	80	120	120	100,0	60	90	90

Коэффициент	Производство: серийное	мелкосерийное	единичное
k_1	1	0,75	0,5
k_2	1	2	3

Примечание: 1. Коэффициент k_1 учитывает серийность; k_2 — дублирование линий.
2. Расчет мощностей произведен исходя из следующих предпосылок: а) загрузка линий и участков должна достигать, как правило, 80%; б) не менее 70% металла должно обрабатываться на поточных линиях; в) k_1 и k_2 в зависимости от серийности приняты:

19. Средняя годовая производительность заготовительного оборудования (в тыс. т) при работе в две смены

Оборудование	Средняя масса заготовки, кг: 0,25—0,6	0,6—1,0	1,0—1,6	1,6—2,5	2,5—4,0	4,0—6,0	6,0—10	10—16	16—25	25—40	40—60	60—100	100—160
Кривошипные ножницы для резки одиовременно:													
по одному прутку в холодном состоянии	—	—	—	10	12	15	18	22	26	31	36	43	50
по два прутка в холодном состоянии . .	—	—	—	15	18	22	27	33	39	45	54	—	—
по одному прутку в горячем состоянии	—	—	—	8	10	12	14	18	21	24	29	34	40
по два прутка в горячем состоянии . . .	—	—	—	12	15	18	22	26	31	36	43	—	—
Комбинированные ножницы	—	4	5,2	6,5	8,5	11	14	18	23	27	—	—	—
Кривошипные прессы	1,3	2,3	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Автоматические агрегаты на базе кривошипных прессов	2	3,5	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Хладноломы	—	—	—	—	4	5	7	9	12	16	21	28	38
Станки:													
фрезерно-отрезные . .	0,1	0,14	0,18	0,24	0,35	0,45	0,57	0,72	1,0	1,5	2,2	—	—
отрезные ножовочные	0,06	0,08	0,1	0,14	0,21	0,27	0,4	0,48	0,6	0,9	—	—	—
абразивные	0,18	0,22	0,3	0,35	0,45	0,6	—	—	—	—	—	—	—
трубоотрезные	0,18	0,36	0,6	0,9	1,15	1,4	1,6	1,8	—	—	—	—	—

20. Примерная средняя производительность ножниц (в шт./ч) при резке заготовок в холодном состоянии

Диаметр заготовки, мм	Длина отрезанной заготовки, мм: 100	200	300	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
20	2100	1600	1400	1250	800	720	650	590	380	340	300	270
30	1900	1400	1250	1150	760	680	600	540	360	320	290	260
40	1500	1200	1100	1000	660	600	540	490	320	290	260	230
50	1300	1000	900	800	520	470	420	380	250	220	200	180
60	1050	800	720	650	430	390	350	320	210	100	170	150
70	900	700	630	550	360	330	300	270	180	160	140	130
80	800	600	540	480	320	290	260	240	160	140	130	120
90	650	500	450	400	260	230	210	190	130	120	110	100
100	450	350	310	280	180	160	140	130	90	80	70	65
110	—	300	270	250	160	140	130	120	80	70	65	60
120	—	250	230	210	140	130	120	110	70	60	55	50
130	—	200	180	160	110	100	90	80	55	50	45	40
140	—	150	130	120	80	70	60	55	35	30	27	25
150	—	110	90	80	50	45	40	35	25	23	21	20

21. Данные, необходимые для определения общей площади заготовительного цеха (без склада металла)

Средняя масса заготовки, кг	Выпуск заготовок в год на 1 м² общей площади, т	Средняя масса заготовки, кг	Выпуск заготовок в год на 1 м² общей площади, т	Средняя масса заготовки, кг	Выпуск заготовок в год на 1 м² общей площади, т
0,25—0,63	12	2,5—4,0	25	25—40	50
0,63—1,0	15	4,0—6,3	30	40—63	60
1,0—1,6	18	6,3—10	35	63—100	70
1,6—2,5	20	10—16	40	100—160	80
		16—25	45		

22. Расход вспомогательных материалов

Оборудование	Годовой расход материалов на единицу оборудования, кг			
	Машинное масло	Солидол	Керосин	Обтирочные материалы
Кривошипные ножницы	40	50	20	40
Кривошипные прессы	65	30	12	25
Хладноломы	25	35	18	35
Фрезерно-отрезные станки	20	25	15	25
Прочее заготовительное оборудование	15	20	10	20

23. Нормы хранения запасов металла и заготовок

Производство	Норма хранения		
	металла, поступающего непосредственно с металлургических заводов, календарных дней	металла, поступающего с центрального заводского склада, рабочих дней	заготовок, рабочих дней
Массовое	25—30	8—10	4—5
Крупносерийное	30—40	10—15	6—7
Серийное	40—60	15—20	8—10

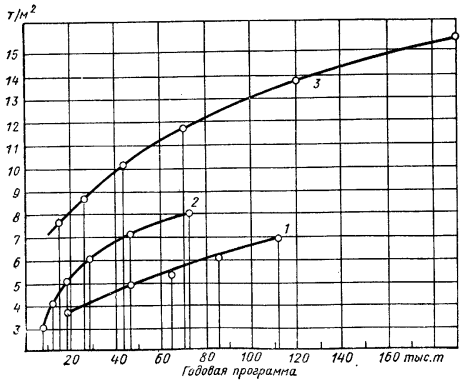


Рис. 1. Выпуск заготовок на 1 м² общей площади в зависимости от годовой программы:

1 — металлургическое машиностроение; *2* — вагоностроение; *3* — подъемно-транспортное машиностроение

Для заготовительного отделения площадь, обслуживаемая одним уборщиком в смену, 2000—2500 м² при единичном и мелкосерийном производстве, 2500—

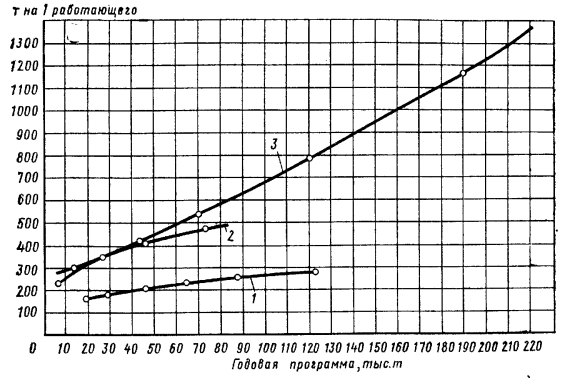


Рис. 2. Выпуск заготовок на одного работающего в зависимости от годовой программы:

1 — металлургическое машиностроение; *2* — вагоностроение; *3* — подъемно-транспортное машиностроение

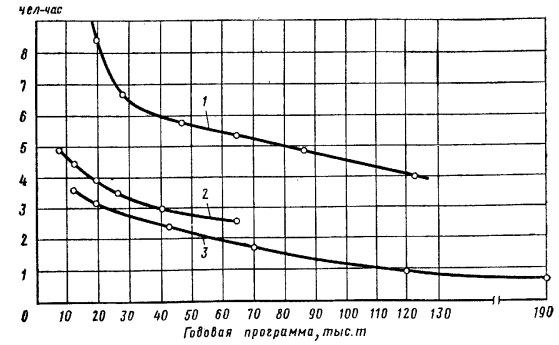


Рис. 3. Трудоемкость производства 1 т заготовок в зависимости от годовой программы:

1 — металлургическое машиностроение; *2* — вагоностроение; *3* — подъемно-транспортное машиностроение

3000 м² при серийном производстве, 3000—3500 м² при крупносерийном производстве. Фактическая убираемая площадь составляет 40—50% общей площади производственного помещения. Нормы даны с учетом механизированного удаления

металлоотходов, мусора и применения уборочных машин. Большие нормы рекомендуются для цехов с годовым выпуском более 50 тыс. т.

Для укрупненных расчетов при разработке ТЭО реконструкции или строительства предприятия, технико-экономических показателей, ориентировочных проверочных расчетов рекомендуется использовать следующие нормы: вспомогательных рабочих должно быть 35—40% от числа производственных рабочих; инженерно-технических работников — 11—12% от общего числа рабочих; служащих — 2—2,5%, младшего обслуживающего персонала и работников технического контроля 1,7—2% от общего числа рабочих соответственно. Большие нормы следует использовать при крупносерийном производстве.

Годовые нормы перевозки стальных заготовок напольным транспортом в заготовительных цехах следующие: 4 тыс. т на электрокарах грузоподъемностью 1,5 т и 7 тыс. т на погрузчике грузоподъемностью 3,2 т; 10 тыс. т на погрузчике грузоподъемностью 3,2 т. и 12 тыс. т. на погрузчике грузоподъемностью 5,0 т; 20 тыс. т на трайлере.

На рис. 1—3 представлены зависимости, характеризующие эффективность заготовительного производства, от годовой программы.

СВАРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Ориентировочные признаки, характеризующие серийность производства, следует принимать по табл. 24.

24. Годовой выпуск деталей (узлов), тыс. шт.

Масса сварных узлов для изделия, кг	Производство		
	мелкосерийное и единичное	серийное	крупносерийное
До 25	До 5	5—200	200—400
25—100	2—8	2—100	100—800
100—500	0,5—2,5	0,5—150	30—350
500— 1 000	0,3—0,6	0,3—10	5—100
1 000— 5 000	0,2—1,0	0,2—17,5	3,5—125
5 000—25 000	0,1—0,5	0,1—10	2,0—25
25 000—100 000	0,05—0,2	0,05—4	1,0—10
Св. 100 000	До 0,01	Св. 0,01	—

25. Действительный (расчетный) годовой фонд времени рабочих (при 41-часовой рабочей неделе и восьми праздничных днях в году)

Профессия рабочего	Продолжительность основного отпуска, дней	Номинальный годовой фонд рабочего, ч	Потери от номинального фонда, %	Действительный (расчетный) годовой фонд рабочего, ч
Сварщик	24	2070	12	1820
Слесарь-сборщик (под сварку), разнорабочий, оператор	18	2070	11	1840
Правильщик, разметчик, слесарь, электрик, наладчик, кладовщик, контролер, распределитель, комплектовщик, рабочий внутризаводского транспорта	15	2070	10	1860

Примечание. Указанный действительный годовой фонд времени не распространяется на рабочих, работающих в районах Крайнего Севера и других местах в условиях, приравненных к этим районам.

На рис. 4—7 представлена эффективность сварочного производства в зависимости от годовой программы.

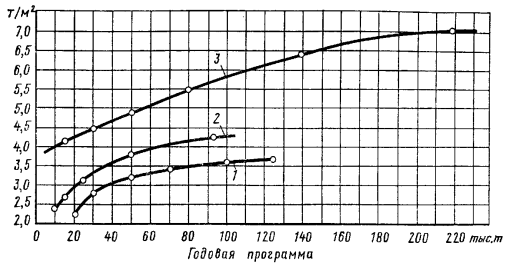


Рис. 4. Выпуск сварных узлов машиностроительных конструкций на 1 м² общей площади в зависимости от объема годовой программы:

1 — металлургическое машиностроение; *2* — вагоностроение; *3* — подъемно-транспортное машиностроение

Приведенные на рис. 1—7 укрупненные показатели съемов продукции с 1 м² общей площади и трудоемкости в зависимости от годовой программы выпуска (участка, отделения, цеха, блока цехов) служат для разработки технико-экономи-

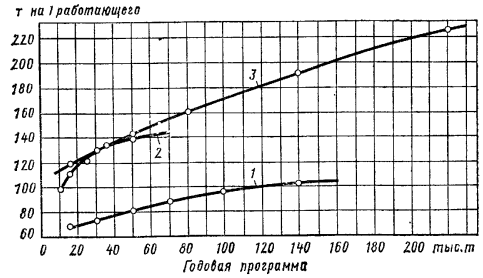


Рис. 5. Выпуск сварных узлов машиностроительных конструкций на одного работающего в зависимости от объема годовой программы:

1 — металлургическое производство; *2* — вагоностроение; *3* — подъемно-транспортное машиностроение

ческих обоснований. При разработке технических проектов приведенные показатели уточняются на основании директивных (перспективных) технологических процессов, разработанных специализированными технологическими институтами.

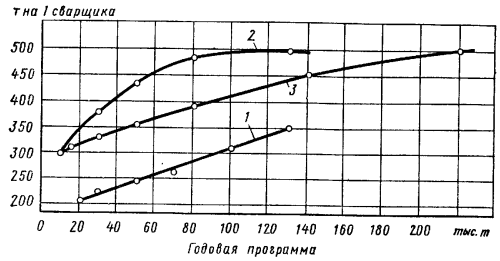


Рис. 6. Выпуск сварных узлов машиностроительных конструкций на одного рабочего-сварщика в зависимости от объема годовой программы:

1 — металлургическое машиностроение; *2* — вагоностроение; *3* — подъемно-транспортное машиностроение

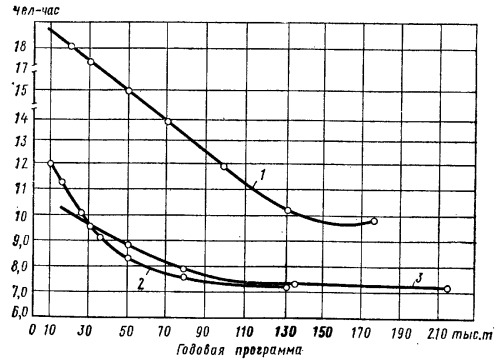


Рис. 7. Трудоемкость производства 1 т сварных узлов машиностроительных конструкций в зависимости от объема годовой программы:

1 — металлургическое машиностроение; *2* — вагоностроение; *3* — подъемно-транспортное машиностроение

26. Действительный (расчетный) фонд времени работы оборудования (при 41-часовой рабочей неделе и восьми праздничных днях в году), ч

Оборудование	Число смен		
	одна	две	три
Сварочное	2010	3935	5775
Рабочие места без оборудования	2070	4140	6210
Автоматические линии	—	3725	5465
Металлорежущее	2030	4015	5960

28. Время на переналадку *А* в % времени от действительного годового фонда времени работы оборудования и переналадку *Б* в % времени от времени годовой фактической загрузки оборудования

Оборудование	Переналадка *А* при числе узлов, закрепленных за оборудованием			Переналадка *Б*
	До 3	4—6	7—10	
Стационарные и подвесные контактные машины	До 5	5—8	8—12	5
Автоматы и полуавтоматы дуговой и газоэлектрической сварки	До 3	3—5	6—10	
Посты механизированной дуговой сварки и прочее оборудование	До 5			2

Примечание. Бо́льшие значения следует принимать для более сложных технологических процессов и при закреплении за каждой единицей оборудования большого числа узлов.

27. Удельный вес сварочных операций в технологическом процессе производства сварных конструкций

Наименование операций	Удельный вес, %	
	с учетом заготовительных работ	без учета заготовительных работ
Заготовительные операции по изготовлению деталей сварных конструкций	18,5—24,1	—
Сборка сварных узлов	10,2—32,5	19—47,1
Сварочные работы:		
всего	13,8—27,2	19,5—36,8
в том числе вспомогательные приемы при сварке	6,2—12,2	8,8—17,0
отделка, окраска; термическая обработка, механическая обработка, упаковка	4,7—12,9	6,6—20,4
Вспомогательные операции:		
всего	14,9—42,5	14,6—34,2
в том числе обслуживание электромостовых кранов и стропление изделий	12,7—26,7	12,5—21,4

Примечание. Данные установлены на основании анализа технологической трудоемкости работ по производству сварных конструкций на заводах тяжелого машиностроения.

Нормы обслуживания сварочного оборудования одним наладчиком следующие:

Тип оборудования	Число единиц оборудования на одного рабочего
Стационарные точечные машины мощностью, кВА:	
75—150	10—12
до 400	10—11
« 600	9—10
Подвесные точечные сварочные машины мощностью 75—150 кВА	9—10
Стыковые сварочные машины мощностью кВА, до:	
100	9—10
300	8—9
1000	3—4
Роликовые сварочные машины мощностью до 200 кВА	7—8

Многоэлектродные машины с число м электродов до:	
24	4
48	2
96	1
Дуговые одноголовочные автоматы	8—10
Полуавтоматы для дуговой сварки	12—15
Посты для сварки:	
аргонодуговой	15—20
газовой	15—20

Меньшие значения необходимо принимать для более мощного оборудования и для цехов с бо́льшим числом каждого типа машин и установок. Наладчики автоматиче ских линий относятся к категории производственных рабочих. Нормы обслуживания учитывают двухсменный режим работы оборудования с коэффициентом загрузки $k_з = 0{,}85$.

29. Коэффициенты загрузки основного оборудования, сменности работы оборудования и рабочих

Производство	Коэффициент загрузки оборудования	Коэффициент сменности	
		оборудования	рабочих
Единичное и мелкосерийное	0,75—0,8	1,8—2	1,6—1,8
Серийное	0,75—0,85	1,9—2	1,6—1,8
Крупносерийное	0,8—0,9	1,9—2	1,6—1,8

Примечание. Приведенные коэффициенты относятся к цехам (отделениям) с годовым выпуском более 20 тыс. т.

30. Уровень производительности труда

Отрасль промышленности	Масштаб производства, тыс. т/год	Уровень производительности труда, т	
		одного работающего	одного производственного рабочего
Тяжелое и транспортное машиностроение	До 80	50—105	70—150
	Св. 80	70—130	90—180
Химическая	До 80	50—70	70—95
	Св. 80	65—90	90—120
Автомобилестроение	До 100	80—110	120—150
	Св. 100	110—130	160—180
Строительно-дорожное машиностроение	До 20	45—70	65—97
	Св. 20 до 50	80—90	110—130
	Св. 50		
Электротехническая	От 30 до 70	90—120 77—90	130—170 110—130

31. Уровень механизации и автоматизации

Отрасль промышленности	Масштаб производства, тыс. т в год	Степень охвата рабочих механизированным трудом, %	Уровень механизированного труда, %	Уровень механизации и автоматизации производственных процессов, %
Тяжелое и транспортное машиностроение	До 80	82—90	59—65	65—72
	Св. 80	89—95	53—59	76—82
Химическая	До 80	80—92	51—57	65—75
	Св. 80			
Автомобилестроение	До 100	90—95	53—59	74—80
	Св. 100			
Строительное и дорожное машиностроение	До 20	84—88	48—52	65—72
	От 20 до 50	84—89	45—49	65—70
	Св. 50	90—95	53—59	74—80
Электротехническая	От 30 до 70	75—85	45—50	65—75

Допускаемые расстояния между элементами зданий, оборудованием (рабочими местами) и местами складирования следующие:

Минимальное расстояние	Допускаемые значения, м	Минимальное расстояние	Допускаемые значения, м
От колонн или стен здания до:		Между оборудованием, расположенным фронтом друг к другу	1,0—3
боковой стороны оборудования	1,0—3,0	От фронта оборудования до места складирования	1,0—1,6
тыльной стороны оборудования	1,0—2,5	Между местами складирования	1,0—1,4
фронта оборудования	1,0—2,5	Между тыльной стороной оборудования и местом складирования	1,0—1,2
Между фронтом и тыльной стороной оборудования	1,0—2	Между боковой стороной оборудования и местом складирования	1,0—2
Между тыльной и боковой стороной оборудования	1,4—2		
Между тыльными сторонами оборудования	1,0—1,4		
Между боковыми сторонами оборудования	1,0—3		

Меньшие значения указанных допускаемых расстояний относятся к малогабаритным, а большие — к крупногабаритным (в плане) станкам, стендам и местам складирования. Окончательные расстояния между оборудованием, элементами зданий и мест складирования определяются планом расположения оборудования (планировкой) по типовым схемам компоновок конкретных видов (моделей) оборудования.

32. Унифицированные размеры пролетов и грузоподъемность подъемно-транспортных средств, проемы для проездов и проходов

Размеры пролета, м	Высота цеха, м		Грузоподъемность, т	
	до низа покрытий	до головки кранового рельса	подвесных электрических кранов	мостовых электрических кранов общего назначения
18	6,0; 7,2; 8,4	6,15; 9,95; 8,15	0,25—5	10; 20/5
18	8,4; 9,6; 10,8; 12,6; 14,4	9,65; 11,45;	—	10; 20/5; 30/5
24	8,4; 9,6; 10,8	6,15; 6,95; 8,15	—	10; 20/5
24	12,6; 14,4	9,65; 11,45	—	10; 20/5; 30/5
24	16,2; 18	12,65; 14,45	—	30/5; 50/10
30	12,6; 14,4; 16,2; 18	9,65; 11,45; 12,65; 14,45	—	30/5; 50/10; 75/20; 100/20; 150/30
36	16,2; 18,0; 19,8	12; 13,8; 15,6; 11,2; 14,8	—	75/20; 100/20; 150/30

Примечание: 1. Шаг внутренних колонн принят 12 м. 2. Через косую дробь в числителе указана грузоподъемность основных средств, в знаменателе — вспомогательных средств. 3. Таблица составлена на основании строительных норм СН-223-62 «Основные положения по унификации объемно-планировочных и конструктивных решений промышленных зданий». 4. Необходимое количество подъемно-транспортного оборудования определяется расчетом. 5. Пролеты кранов принимаются по ГОСТу и должны быть увязаны со строительными конструкциями. 6. При соответствующем обосновании допускается применение мостовых кранов грузоподъемностью до 5 т.

При определении ширины проходов и проездов ширина рабочей зоны принята 800 мм, Транспортируемое изделие не должно выходить за габариты транспортных

средств. В отдельных случаях в зависимости от габаритов транспортируемых изделий ширина проходов и проездов может быть увеличена при соответствующем обосновании. Ширина проходов для работающих должна быть 1,4—1,6 м; ширина магистрального проезда 3—4 м.

В зависимости от технологических требований проемы для проезда и проходов, исходя из строительных норм, следующие:

Для ворот:							
ширина, мм	4700	4000	4000	3000			
высота, мм	5600	4200	3000	3000			
Для дверей:							
ширина, мм	1920	1520	1220	1020	1320	1220	1020
высота, мм	2370	2370	2370	2370	2070	2070	2700

Расчет запаса хранимых материалов. Нормы запаса хранимых материалов, полуфабрикатов и готовой продукции (в тоннах)

$$P = \frac{Qa}{M},$$

где Q — годовое поступление на склад материалов, заготовок, сварных узлов, т; a — норма запаса материалов, дней; $M = 253$ — число рабочих дней в году.

Расчет площадей складов. При определении площади склада исходят из запасов хранимых материалов, грузонапряженности и коэффициента использования полезной площади:

$$S = \frac{P}{qk},$$

где P — запас хранения материалов, т; q — грузонапряженность, т/м²; k — коэффициент использования полезной площади.

33. Ширина цеховых проходов и проездов, мм

Проезды, проходы	Направление движения	Способы транспортирования			
		малогабаритными самоходными тележками шириной мм, до		электрокарами и электропогрузчиками шириной 1200 мм	погрузчиками с боковым грузоподъемником шириной 1700 мм
		500	700		
При отсутствии зон обслуживания оборудования	Одностороннее	1100	1300	2000	2300
	Двустороннее	1500	2000	3000	—
При обслуживании одного ряда оборудования (включая рабочую зону)	Одностороннее	1800	2000	2500	3000
	Двустороннее	2500	2900	—	—
Между двумя зонами обслуживания оборудования (включая рабочие зоны)	Одностороннее	2700	2900	3400	3900
	Двустороннее	3400	3800	—	—

Примечание. При транспортировании грузов с помощью передаточных электротележек при колее шириной 724 мм и габарите тележки с учетом боковых зазоров до 1500 мм ширина прохода или проезда должна быть 2100 мм; при колее шириной 1504 мм и габаритах тележек 1800, 2800 и 3800 мм соответственно 2600, 3800, 5200 мм.

34. Нормы расчета цеховых складов и запаса хранимых материалов и полуфабрикатов

Склад	Хранимый материал	Нормы запаса материалов, дней для производств: единичного и мелкосерийного	серийного	крупносерийного	Способ хранения	Грузонапряженность q полезной площади, т/м²: в штабелях: по-штучно	в штабелях: в таре	в стеллажах: Высота укладки, м: до 2,5	до 2,5	2,5—4,0	4,0—6,0	6,0—8,0
Промежуточный склад металла	Металлопрокат	8—12	5—8	3	Поштучно в штабелях и стеллажах	3,5	—	2,5	—	—	—	—
Комплектовочный склад заготовок и деталей	Крупные заготовки и детали	6—9	3—5	2	Поштучно в стеллажах	3,0	—	2,5	—	—	—	—
	Средние и мелкие заготовки	8—12	5—8	3	В таре, в стеллажах	—	3,0	2,5	4,0	6,0	8,0	
Сварных узлов	Крупные и тяжелые узлы	6—9	3—5	2	Поштучно в штабелях	1,2	—	—	—	—	—	—
	Средние и мелкие узлы	8—12	5—8	3	В таре, в стеллажах	—	1,5	1,0	1,5	1,8	2,5	

Примечание: 1. При непрерывной подаче металла в цех с общезаводского отапливаемого склада промежуточный склад металла в цехе не создается.

2. Приведенные в таблице нормы грузонапряженности на 1 м² полезной площади относятся к серийному производству. При другой серийности следует принимать поправочные коэффициенты: для производства: крупносерийного — 1,1; единичного и мелкосерийного — 0,8.

3. Меньшие значения норм запаса хранения брать для производства с годовым выпуском 3—5 тыс. т; большие — для производства с выпуском 40—50 тыс. т.

4. При хранении материалов, полуфабрикатов и готовой продукции в промежуточном складе металлов и комплектовочном складе коэффициент использования полезной площади при обслуживании напольным транспортом $K = 0{,}25 \div 0{,}3$; при обслуживании верхним транспортом $K = 0{,}35 \div 0{,}4$.

35. Нормы расчета цеховых кладовых

Хранимые материалы	Цех, отделение	Удельный показатель	Площадь (в м²) при производстве: мелкосерийном и единичном	Площадь (в м²) при производстве: серийном и крупносерийном
Инструмент, приборы	Заготовительное Сварочное	На единицу технологического оборудования На одно рабочее место	0,6 0,7	0,5 0,6
Вспомогательные материалы, электроды, проволока, флюсы	Заготовительное Сварочное	На единицу технологического оборудования Для вспомогательных материалов на единицу технологического оборудования Для электродов на одного сварщика ручной дуговой сварки Для флюсов и проволоки на одного сварщика автоматической и полуавтоматической сварки	0,2 0,2 0,25 0,5	0,15 0,15 0,2 0,4
Приспособления, кондукторы и др.	Заготовительное Сварочное	На единицу оборудования На одно стационарное рабочее место для сварки мелких узлов	0,5 0,5	0,4 0,4
Шаблоны	ЦМК	На 100 т выпуска цеха (отделения)	0,2	0,15
Штампы	Заготовительное	По среднему количеству хранимых комплектов штампов. Удельные площади для хранения одного штампа для прессов усилием: до 25 тс —0,05 м² до 25—63 тс—0,10 м² до 100 тс —0,25 м² Хранение штампов массой до 1,0 т предусматривать в стеллажах, в том числе массой до 0,5 т на верхних полках; хранение штампов массой более 1 т — напольное.		

Примечание. В цехах общей площадью 15 000 м² допускается объединение кладовых. Цеховые склады и кладовые должны размещаться в непосредственной близости к соответствующим производственным участкам. В цехах общей площадью 15 000 м² допускается организовать механизированные инструментально-раздаточные кладовые, сблокированные с кладовыми приспособлений. При значительных объемах хранения заготовок и узлов рекомендуется организовать автоматизированные склады с максимальным использованием высоты помещения. Оборудование цехового склада должно обеспечивать наилучшее использование его площади и объема. Для механизации складов применяют: краны мостовые электрические; краны-штабелеры электрические; авто- и электропогрузчики; электротележки; краны консольные поворотные; конвейеры; электроштабелеры. Применение электроштабелеров для транспортирования и складирования грузов в стеллажах и штабеля позволяет на 20—30% лучше использовать складскую площадь.

36. Сроки хранения запаса сварных узлов на складах сварочных цехов с массовым производством, рабочие часы

Сварные узлы	Годовой выпуск, тыс. т: До 10	50	100	200	400	Способ хранения
Склад узлов перед окраской						
Крупные пространственно-объемные штампо-сварные (например, кузова автомобилей)	3—4	2,5—3	2—2,5	1,5—2	1—1,5	На напольных конвейерах
Плоские сварные (рамы, фермы, платформы, полотнища, каркасы)	2—2,5	1,5—2	1—1,5	0,5—1	—	Подвесное или напольное
Наружной облицовки машин, мелкие и средние	3,5—4	3—3,5	2,5—3	2—2,5	1,5—2	Подвесное или напольное в таре
Промежуточные склады перед общей сборкой-сваркой						
Крупные подузлы изделий (например, полы, боковины, крыши автомобильных кузовов)	4—6	3—4	2—3	1—2	0,5—1	Подвесное или напольное в обменной таре
Средние подузлы (навесные части кузовов — двери, капоты, багажники)	6—8	5—6	4—5	3—4	2—3	То же
Мелкие	14—16	10—14	8—10	6—8	4—6	В обменной таре штабелями или в стеллажах

Примечание: 1. Сроки хранения запаса приведены для поточного непереналадиваемого производства. 2. Для цехов — потребителей партий, величина которых больше указанных в нормах, дополнительные запасы узлов должны предусматривать цехи-потребители на своих площадях. 3. Напольное хранение запаса применяют для тяжелых узлов массой более 500 кг. 4. Подвесное хранение применяют для штампосварных узлов при необходимости их циркуляции на грузонесущем цепном конвейере или при автоматическом их учете пополнении и расходовании.

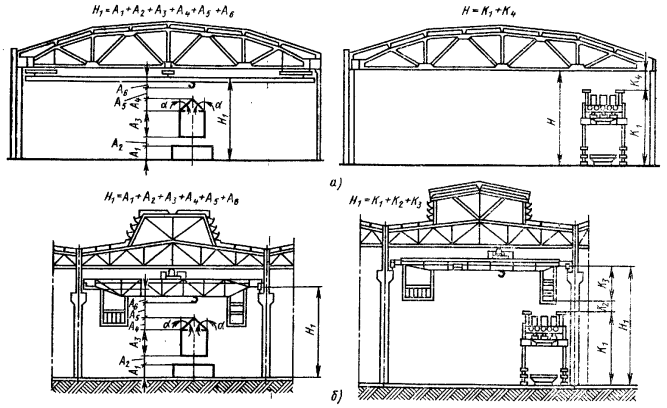


Рис. 8. Схема внутренних габаритов зданий (сооружений), проектируемых для производства сварных машиностроительных конструкций:

а — бескрановые пролеты; *б* — пролеты, обслуживаемые мостовым краном; α — угол наклона строп к вертикали (не более 45°)

37. Нормы расчета высоты цеха

Условные обозначения на рис. 8	Параметр	Норма расчета
A_1	Высота оборудования (рабочего места), на которое устанавливают изделие	По паспорту оборудования или принимают конструктивно
A_2	Высота, на которую поднимают изделие над оборудованием (рабочим местом) при его установке	500 мм
A_3	Высота транспортируемого изделия или тары	Определяют по габариту изделия тары
A_4	Высота стропа, т. е. расстояние от верхней поверхности изделия (тары)	0,3 ширины зачалки, но не менее 1 м
A_5	Резерв высоты	Принимают не более 500 мм наивысшего положения крюка
A_6	Расстояние от вершины головки кранового рельса до нижней точки поднятого до предела крюка	По паспорту крана, но не менее 0,75 мм
K_1	Расстояние от пола до верхней точки оборудования максимального габарита с учетом крайнего положения движущихся частей	Определяют по паспорту оборудования максимального габарита
K_2	Расстояние от нижних выступающих частей кабины управления или люльки для обслуживания троллей до расположенного в зоне их действия оборудования, максимального по высоте	Не менее 400 мм
K_3	Расстояние от нижних выступающих частей кабины управления или люльки для обслуживания троллей до вершины головки кранового рельса	По паспорту крана
K_4	Расстояние от низа фермы до оборудования, максимального по высоте	По условиям монтажа и демонтажа оборудования, но не менее 100 мм

38. Общая площадь на единицу оборудования (рабочее место)

Отрасль промышленности	Масштаб производства, тыс. т/год	Общая площадь на единицу оборудования (рабочее место), м²
Тяжелое и транспортное машиностроение	До 80	110—150
	Св. 80	140—180
Химическая	До 80	90—110
	Св. 80	110—130
Автомобилестроение	До 100	60—70
	Св. 100	70—80
Строительное и дорожное машиностроение	До 20	50—80
	От 20 до 50	70—90
Электротехническая	Св. 50	90—110
	От 30 до 70	90—100

39. Средняя площадь (в м²) на единицу сборочно-сварочного оборудования или на одно рабочее место в единичном и мелкосерийном производстве (для укрупненных расчетов)

Максимальные габаритные размеры сварных узлов, м	Сварные узлы								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
6×4×1,6	—	—	200	—	—	—	—	—	—
10×6×2,5	—	200	—	—	220—280	—	—	120—180	180
16×6×2,5	100	—	—	200	—	—	—	160—220	200
25×2,5×1,6	120	—	—	—	—	140	140	220	—
40×4×1,6	—	—	—	—	—	—	140	—	—
60×4×1,6	—	—	—	—	—	—	160	—	—

Примечание. Узлы вагоностроения: I — рамно-кузовные. Узлы котлостроения: II — камеры; III — трубчатые подогреватели; IV — металлоконструкции; V — сварные блоки; VI — сварные барабаны; VII — узлы подъемно-транспортного оборудования; VIII — узлы металлургического оборудования; IX — узлы турбин и дизельных двигателей.

40. Нормы плотности работ (число человек на рабочее место в каждой смене)

Рабочее место сборки и сварки сварных узлов с габаритом в плане, м, до	Сборка	Сварка				
		ручная	полуавтоматическая	автоматическая	электрошлаковая	контактная
1×1,5	1	1	1	1	1	1
2×3,5	2—2	1—2	1—2	1—2	1	1
3×6	2	2	2	1—2	2—3	—
3,5×12	3	2—3	2—3	1—2	3—4	—
4,5×24	5	6—8	6—8	2—3	5—7	—

Примечание: 1. Большие значения принимают при более крупногабаритных и тяжелых узлах.
2. Процент женщин к общему числу рабочих принимают 30 — 35.

41. Категории ремонтной сложности оборудования сварочных цехов

Оборудование	Категории ремонтной сложности, единицы		Оборудование	Категории ремонтной сложности, единицы	
	электрической части	механической части		электрической части	механической части
Стационарные точечные машины мощностью, кВА:			Многоэлектродные машины с числом электродов		
75—150	15	4	24	120	60
200—400	25	5	48	240	90
500—600	35	6	96	480	150
Подвесные точечные машины мощностью до 150 кВА	15	4	Автоматы для дуговой сварки под флюсом и в защитных газах:		
Стыковые сварочные машины мощностью, кВА:			АДС-1000	10	—
до 75	10	—	АДПГ-1000	10	—
75—150	15	10	Полуавтоматы для дуговой сварки под флюсом и в защитных газах:		
150—300	25	15	А-547У	6	—
до 1000	35	20	ПДПГ-500	6	—
Роликовые (шовные) машины мощностью, кВА:			ПДШР-500	6	—
100	15	—			
200	20	5			

Продолжение табл. 41

Оборудование	Категории ремонтной сложности, единицы		Оборудование	Категории ремонтной сложности, единицы	
	электрической части	механической части		электрической части	механической части
Установки для аргонодуговой сварки неплавящимся электродом:			Гидравлический пресс усилием 150 тс	5	20
УДАР-500	12	—	Гидравлическая клепальная установка (скоба с насосной станцией) . . .	3	8
УДГ-500	12	—	Пневматический клепальный станок	—	3
Сварочные выпрямители:			Толкающие и шаговые конвейеры длиной 1 м . .	0,1	2
ВСС-300	5	—	Напольный тележечный конвейер длиной 1 м . . .	0,1	0,5
ВС-500	5	—	Прочее оборудование — приспособления сварочные с пневматическим, гидравлическим и механическим приводом . . .	—	5
ВКСМ-1000	8	—	Механизированный инструмент: электрогайковерты, электрические заточные машины и другой электроинструмент . . .	1	3
Сварочные преобразователи:					
ПСО-300	10	3			
ПСО-500	10	3			
ПС-1000					
ПСМ-1000	20	6			
Сварочные трансформаторы:					
ТСД-500	6	—			
ТСД-1000	8	—			

Примечание: 1. Категории ремонтной сложности контактных сварочных машин указаны с учетом пускорегулирующей аппаратуры, пневматических или гидравлических приводов.

2. Категории ремонтной сложности оборудования для дуговой сварки указаны без источников питания.

42. Нормы обслуживания оборудования (в единицах категории ремонтной сложности) одним рабочим в смену

Оборудование	Электрик	Слесарь
Стационарные и подвесные точечные машины	700	500
Стыковые и роликовые машины	700	500
Многоэлектродные машины	600	400
Автоматы и полуавтоматы дуговые, источники питания	800	600
Прочее оборудование, приспособления и механизированный инструмент	900	500

Примечание. К прочему оборудованию отнесены прессы, клепальные установки и станки, испытательные стенды, консольные краны, конвейеры и др

43. Номенклатура профессий и распределение по группам санитарных характеристик производственных и вспомогательных рабочих, методика определения их численности

Номенклатура профессий производственных и вспомогательных рабочих	Группа санитарных характеристик по СНиП П-М.3—68	Методика определения численности
Производственные рабочие		
Вальцовщики	Iб	$N = \frac{T}{\Phi}$, где N — число производственных рабочих; T — трудоемкость на годовую программу, чел.-ч; Φ — действительный годовой фонд времени работы производственных рабочих
Гибщики	Iб	
Правильщики	Iб	
Резчики	Iб	
Штамповщики	Iб	
Наждачники	IIг	
Разметчики	Iб	
Сверловщики	Iв	
Слесари	Iб	
Газорезчики	IIб	
Операторы автоматических линий	Iб	По числу единиц оборудования линий
Наладчики автоматических линий	Iв	
Вспомогательные рабочие		
Наладчики оборудования	Iв	По нормам численности вспомогательных рабочих для проектирования цехов металлоконструкций
Распределители работ	Iб	По отраслевым нормам численности вспомогательных рабочих для проектирования цехов металлоконструкций
Крановщики подъемных кранов	Iб	
Стропальщики	Iб	
Кладовщики-раздатчики инструментов, штампов, приспособлений и вспомогательных материалов	Iб	
Кладовщики-комплектовщики промежуточных складов металла, заготовок, деталей	Iб	
Разнорабочие (подсобные рабочие)	Iб	
Рабочие по межремонтному обслуживанию оборудования в том числе:		
слесари	Iв	
электрослесари	Iб	
смазчики	Iв	
Уборщики производственных помещений	Iв	

44. Номенклатура и распределение по группам санитарных характеристик ИТР, СКП, МОП, ОТК

Наименование	Группа санитарных характеристик по СНиП П-М.3—68	Наименование	Группа санитарных характеристик по СНиП П-М.3—68
Инженерно-технические работники		Начальник (ПРБ, ПДБ)	Iа
		Диспетчеры	Iа
		Инженеры-плановики	Iа
		Экономисты	Iа
Начальник цеха и его заместитель	Iа	Механик цеха	Iа
Начальники участков (отделений)	Iа	**Счетно-конторский персонал**	
Мастера (старшие, сменные)	Iб, IIб	Нарядчики	Iа
Инженеры и техники-технологи	Iа	Учетчики	Iа
		Секретарь-делопроизводитель	Iа
Нормировщики	Iа		

Продолжение табл. 44

Наименование	Группа санитарных характеристик по СНиП П-М.3—68	Наименование	Группа санитарных характеристик по СНиП П-М.3—68
Младший обслуживающий персонал		**Отдел технического контроля**	
Уборщики бытовых и конторских помещений	Iб	Начальник бюро цехового контроля	Iа
Гардеробщики	Iа	Контрольные мастера	Iа
Курьеры	Iа	Старшие контролеры	Iб и IIб
		Контролеры	Iб и IIб

Примечание: 1. В первой смене принимается 70% общего числа ИТР.
2. Количество ИТР, работающих в конторских помещениях, составляет 60% от всех ИТР цеха.
3. Все служащие и младший обслуживающий персонал относятся к работающим в конторских помещениях.

45. Нормы определения состава работающих (численности вспомогательных рабочих обслуживающего персонала)

Производственное подразделение	Производство		
	Единичное и мелкосерийное	Серийное	Крупносерийное
Число производственных рабочих, обслуживаемых одним кладовщиком в смену			
Сварочное отделение	70—80	80—90	200—300
Цех металлоконструкций	60—70	75—85	150—160
Число производственных рабочих, обслуживаемых одним подсобным рабочим в смену			
Сварочное отделение	80—90		110—120
Цех металлоконструкций	75—85		105—115
Площадь, обслуживаемая одним уборщиком в смену, м²			
Сварочное отделение	1500—1700	1700—2000	2000—2300
Цех металлоконструкций	1700—2100	2100—2500	2500—3000

Примечание: 1. В обязанности кладовщика-раздатчика кроме получения и выдачи инструмента, приспособлений, штампов и технической документации входит также их комплектация. 2. Большие размеры норм относятся к цехам с годовым выпуском более 50 тыс. т. 3. При создании единой инструментально-раздаточной ЦМК число необходимых кладовщиков-раздатчиков определяют исходя из суммарного количества производственных отделений. 4. При механизированном оборудовании принимают более высокую норму обслуживания. 5. Фактическая площадь уборки составляет 40—50% общей площади производственного помещения. 6. Нормы даны с учетом механизированного удаления металлоотходов, мусора и применения уборочных машин.
При межремонтном обслуживании оборудования слесари обслуживают 55—65 ед. оборудования, а электрослесари 90—110 ед. оборудования.

46. Нормы для расчета числа инженерно-технических работников (ИТР), служащих (СКП) и младшего обслуживающего персонала (МОП) в зависимости от числа рабочих

Производство	Число рабочих в отделении, в цехе								
	до 150			151—300			Св. 300		
	ИТР	СКП	МОП	ИТР	СКП	МОП	ИТР	СКП	МОП
Сварочное									
Единичное и мелкосерийное	11—12	52—65	60—65	13—14	65—68	70—75	16—17	68—70	80—85
Серийное	10—11	54—58	55—60	12—13	58—62	65—70	14—16	64—68	75—80
Крупносерийное	9—10	52—56	45—50	11—12	56—60	55—60	13—15	60—64	65—70
Цех металлоконструкций									
Единичное и мелкосерийное	11—12	60—65	60—65	13—14	65—70	70—75	16—17	70—75	80—85
Серийное	10—11	55—60	55—60	12—13	60—65	65—70	14—16	65—70	75—80
Крупносерийное	9—10	52—56	45—50	11—12	56—60	55—60	13—15	60—65	65—70

Примечание. Большие значения применять для отделений, цехов с большим числом рабочих.

47. Нормы для расчета числа работников технического контроля (ОТК)

Производственное подразделение	Производство	Число рабочих, обслуживаемых одним старшим контролером	Число контролеров, приходящихся на одного работника ИТР	Производственное подразделение	Производство	Число рабочих, обслуживаемых одним старшим контролером	Число контролеров, приходящихся на одного работника ИТР
Сварочное отделение, цех	Единичное и мелкосерийное	36—40	9—10	Цех металлоконструкций	Единичное и мелкосерийное	36—40	9—10
	Серийное	32—36	8—9		Серийное	32—36	8—9
	Крупносерийное	28—32	7—8		Крупносерийное	26—32	7—8

Примечание: 1. Меньшие значения принимать для цехов, отделений с преобладанием узлов сложных и крупногабаритных. 2. Нормы рассчитаны на применение современных методов контроля.

48. Нормы для расчета числа наладчиков сварочного отделения, цеха, корпуса

Оборудование	Число единиц оборудования, обслуживаемого одним наладчиком в смену	
	Серийное производство	Крупносерийное производство
Шланговые автоматы для сварки: открытой дуговой, в среде защитных газов, под слоем флюса	25	30

Продолжение табл. 48

Оборудование	Число единиц оборудования, обслуживаемого одним наладчиком в смену	
	Серийное производство	Крупносерийное производство
Сварочные автоматы подвесного, самоходного типов для дуговой сварки и наплавки в защитных газах и под слоем флюса	20	25
Установки для дуговой сварки в защитных газах неплавящимися электродами	22	18
Автоматы и полуавтоматы для электрошлаковой сварки	20	25
Контактные машины для стыковой, шовной контактной и точечной сварки:		
однофазные	12	15
с трехфазным питанием	7	10

Примечание: 1. Нормы учитывают наладку сварочного оборудования в комплекте с источником питания. 2. При обслуживании одним наладчиком различных видов оборудования к нормам обслуживания оборудования применяют поправочный коэффициент 0,85. 3. В зависимости от процента загрузки оборудования число единиц оборудования, обслуживаемого одним наладчиком, применяют со следующими поправочными коэффициентами:

Загрузка оборудования в течение смены, %	40	50	60	70	80	Св. 80
Поправочный коэффициент	2,0	1,7	1,4	1,25	1,1	1,0

В цехах мелкосерийного производства обслуживание и наладку оборудования производят производственные рабочие.

49. Сводные нормы для укрупненного расчета вспомогательных рабочих и обслуживающего персонала

Работающие	Число работающих, % к производственным рабочим		Число работающих, % к общему числу рабочих	
	Сварочное отделение, цех	Цех металлоконструкций	Сварочное отделение, цех	Цех металлоконструкций
Вспомогательные рабочие	20—22	28—31	—	—
Инженерно-технические работники (ИТР)	—	—	9—11	10—12
Служащие (СКП)	—	—	1,8—2,0	1,9—2,1
Младший обслуживающий персонал	—	—	1,7—2,0	1,7—2,0
Работники технического контроля (ОТК)	—	—	4—5	4,5—5,5

Примечание: 1. Данные нормы предназначены только для укрупненных расчетов при разработке ТЭО реконструкции или строительства предприятий, технико-экономических показателей, ориентировочно-проверочных расчетов и т. д.
2. Большие значения принимать для крупносерийного производства.

50. Проектные основные данные и технико-экономические показатели сварочного производства по некоторым заводам Стройдормаша

Основные данные и ТЭП	Условный номер завода										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Годовой выпуск, т	39 800	36 980	7 520	49 900	1 330	14 262	8 290	36 400	226	13 500	10 800
Максимальная масса сварного узла, кг	1 335	1 335	1 270	1 680	11,9	660	1 440	551	19,5	58	253
Общая развернутая площадь (без служебно-бытовых), м²	3 290	7 150	1 020	8 360	330	3 744	2 670	6 000	50	611	742
в том числе производственная, м²	2 830	7 024	985	7 030	330	3 690	2 420	5 460	50	611	742
Число работающих (без ОТК)	214	389	53	397	45	263	152	440	3	85	42
в том числе рабочих	190	357	46	366	40	213	136	404	3	76	36
из них производственных	155	322	38	302	32	181	112	352	3	65	32
Общая трудоемкость выпуска, чел.-час	281 000	586 000	69 500	552 000	56 900	326 337	206 000	642 000	4980	118 000	58 200
Выпуск на 1 м² общей площади, т	12,1	5,17	7,4	5,95	4,03	3,81	3,1	6,07	4,52	22,1	14,5
Выпуск на 1 списочного рабочего, т	209	103	164	136	3,33	67,0	61	90,1	75,4	178	300
Общая площадь на единицу производственного оборудования, м²	45,7	49,0	46,4	60,8	19,4	44,5	51,3	36,1	25	18	43,6
Трудоемкость 1 т выпуска, чел.-час	7,06	15,8	9,25	11,1	42,8	22,84	24,7	17,6	22,0	8,7	5,89
Коэффициент сменности k	2	1,96	1,9	2	1,9	2,0	2	2	2	2	2
Общая степень охвата механизированным трудом, %	97,5	98,7	91,5	95,5	95	94	97	97,5	100	91	94,5
Уровень механизации сварочных работ, %	97	96	99	94	100	51	98,9	99,9	92,3	100	98,6

Глава 17

ОХРАНА ТРУДА

САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Выполнение заготовительных и сварочных работ на машиностроительных заводах при неправильной организации производства и труда приводит к появлению опасных и вредных производственных факторов, которые при неблагоприятном стечении обстоятельств могут вызвать несчастные случаи, отравления и профессиональные заболевания.

При сварке и резке металлов воздушная среда производственных помещений может загрязняться сварочным аэрозолем, содержащим пыль, вредные газы и пары, например, газообразные фтористые соединения, окись углерода, окислы азота, озон и т. д.

Наличие вредных веществ в рабочей зоне может привести к возникновению у сварщиков профессиональных интоксикаций и пневмокониоза. Отрицательно влияют на здоровье тепловое излучение нагревательных устройств, нагретых крупногабаритных изделий и переохлаждение организма в холодный период года.

Работа оборудования может сопровождаться шумом и вибрациями, вредными для здоровья. В ряде производств на рабочего могут воздействовать интенсивные ультразвуки, например, при ультразвуковой сварке или при плазменной обработке металла.

Неправильная эксплуатация электрического оборудования может создать опасность поражения электрическим током. При контактной сварке рабочие могут подвергаться воздействию переменных магнитных полей. Некоторые виды оборудования создают в производственных помещениях мощные высокочастотные электромагнитные поля. Работа электронно-лучевых установок связана с образованием мягкого рентгеновского излучения. Источниками вредных ионизирующих излучений могут быть также торированные вольфрамовые электроды, применяемые при сварке в среде защитных газов, и радиоактивные препараты, используемые при гамма-дефектоскопии сварных соединений.

Мощное ультрафиолетовое или световое излучение сварочной дуги и плазмы при воздействии на глаза работающего может вызвать электроофтальмию, а при длительном воздействии инфракрасного излучения может развиться помутнение хрусталика — катаракта. Опасность создает использование в сварочном производстве горючих газов и кислорода, а также эксплуатация сосудов, работающих под давлением.

Применение открытого газового пламени, открытых дуг и струй плазмы, наличие брызг жидкого металла и шлака при сварке и резке не только создают возможность ожогов, но и повышают опасность возникновения пожаров.

Полный перечень опасных и вредных производственных факторов не может быть составлен в связи с непрерывным изменением и совершенствованием сварочного производства. Поэтому одновременно с выполнением каждой научно-исследовательской или опытно-конструкторской работы следует проводить исследования в области охраны труда.

При проектировании и эксплуатации предприятий со сварочным производством должны быть приняты меры по профилактике производственного травматизма и профессиональных заболеваний, в первую очередь по уничтожению вредных и опасных производственных факторов, а если ликвидация опасных и вредных факторов затруднена технически или экономически, по их нейтрализации и защите от них.

Санитарно-гигиенические условия и обязательные мероприятия по охране труда в сварочном производстве регламентируются «Системой стандартов безопасности труда», «Строительными нормами и правилами» (СНиП), правилами техники безопасности и производственной санитарии при выполнении отдельных видов работ, правилами устройства и безопасной эксплуатации отдельных видов оборудования, едиными требованиями безопасности к конструкциям оборудования, нормами технологического проектирования, различными инструкциями, указаниями, правилами и другими документами.

Все лица, поступающие на работу, связанную с электросваркой, должны проходить предварительные и периодические медицинские осмотры в соответствии с приказом Министра здравоохранения СССР от 30.05.69 № 400 «О проведении предварительных при поступлении на работу и периодических медицинских осмотров трудящихся».

ВОЗДУШНАЯ СРЕДА И МИКРОКЛИМАТ. ВЕНТИЛЯЦИЯ

Работы по сварке и резке на машиностроительных заводах выполняют, как правило, внутри производственных помещений. Выполнение работ в иных местах допускается на действующих предприятиях в соответствии с Правилами техники безопасности и производственной санитарии по отраслям промышленности.

При выполнении работ внутри помещения системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха должны обеспечивать определенные метеорологические условия (микроклимат), т. е. допустимые температуру, относительную влажность, скорость движения воздуха и его чистоту. Допустимые параметры воздушной среды в рабочей зоне производственных помещений приведены в табл. 1 [30, 36].

При использовании таблицы характеристику производственных помещений по категориям выполняемых в них работ в зависимости от затраты энергии следует принимать в соответствии с ведомственными нормативными документами, исходя из категории работ, которые выполняют 50% работающих и более. Бо́льшая скорость движения воздуха из указанных в таблице значений соответствует максимальной температуре воздуха, меньшая — минимальной. Параметры воздуха в производственных помещениях вне рабочей зоны не нормируются.

Расчетные параметры наружного воздуха для отдельных географических пунктов следует определять по главе СНиП «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» [36]. Воздух в рабочей зоне не должен содержать пыли, вредных газов и паров в количестве, превышающем предельно допустимые концентрации (ПДК), указанные в табл. 2.

При проектировании вентиляции потребный воздухообмен для каждого периода года в общем случае рассчитывают по четырем приведенным ниже формулам, принимая в итоге большее из четырех полученных значений:

а) при расчете по избыткам явного тепла

$$L_1 = L_{о.з} + \frac{Q_я - 0{,}29 L_{о.з}(t_{о.з} - t_п)}{0{,}29(t_{ух} - t_п)};$$

б) при расчете по избыткам влаги

$$L_2 = L_{о.з} + \frac{W - 1{,}2 L_{о.з}(d_{о.з} - d_п)}{1{,}2(d_{ух} - d_п)};$$

в) при расчете по избыткам полного тепла

$$L_3 = L_{о.з} + \frac{Q_п - 1{,}2 L_{о.з}(I_{о.з} - I_п)}{1{,}2(I_{ух} - I_п)};$$

1. Допустимые метеорологические условия в рабочей зоне производственных помещений [30, 36]

Производственные помещения	Категория работы	Холодный и переходный периоды года (температура наружного воздуха до +10° С)			Теплый период года (температура наружного воздуха +10° С и выше)			
		На постоянных рабочих местах при φ не более 75%		$T_в$, °С, в производственных помещениях вне постоянных рабочих мест	На постоянных рабочих местах			$T_в$, °С в производственных помещениях вне постоянных рабочих мест
		$T_в$, °С	$v_в$, м/с, не более		$T_в$, °С	φ, % не более	$v_в$, м/с	
С незначительными избытками явного тепла [20 ккал/(м³·ч) и менее]	Легкая	17—22	0,3	15—22	Не более чем на 3° С выше расчетной температуры наружного воздуха, но не более +28° С	55 при 28° С 60 » 27° С 65 » 26° С 70 » 25° С 75 » 24° С и ниже	0,3—0,5	Не более чем на 3° С выше расчетной температуры наружного воздуха
	Средней тяжести	15—20		13—20	То же, но не более +26° С	65 при 28° С 70 » 25° С 75 » 24° С и ниже	0,3—0,7	
	Тяжелая	13—18		12—18			0,5—1,0	
С значительными избытками явного тепла [более 20 ккал/(м³·ч)]	Легкая	17—24	0,5	15—26	Не более чем на 5° С выше расчетной температуры наружного воздуха, но не более +28° С	55 при 28° С 60 » 27° С 65 » 26° С 70 » 25° С 75 » 24° С и ниже	0,3—0,7	Не более чем на 5° С выше расчетной температуры наружного воздуха
	Средней тяжести	16—22		15—24			0,5—1,0	
	Тяжелая	13—17		12—19	То же, но не более +26° С	65 при 26° С 70 » 25° С 75 » 24° С и ниже	0,5—1,0	

Примечание. $T_в$ — температура воздуха; φ — относительная влажность воздуха; $v_в$ — скорость движения воздуха.

2. Предельно допустимые концентрации (ПДК) некоторых вредных веществ в воздухе рабочей зоны [30]

Вещество	ПДК, мг/м³	Класс опасности	Агрегатное состояние
Алюминий и его сплавы (в пересчете на Al), окись алюминия (в том числе с примесью двуокиси кремния) в виде аэрозоля	2	4	А
Бериллий и его соединения (в пересчете на Be)	0,001	1	
Вольфрам, карбид вольфрама	6	3	
Марганец	0,3	2	
Молибден, его растворимые соединения в виде аэрозоля	2	3	
Никель и его окись (в пересчете на Ni)	0,1	1	П
Озон	0,1	1	
Окислы азота (в пересчете на NO_2)	5	2	
Окись железа с примесью:			А
окислов марганца до 3%	6	4	
фтористых или от 3 до 6% марганцевых соединений	4	4	
Окись углерода	20	4	П
Окись цинка	6	3	А
Пыль с содержанием кристаллической или аморфной (в виде аэрозоля) двуокиси кремния:			
свыше 70%	1	3	
от 10 до 70%	2	4	
Свинец и его неорганические соединения	0,01	1	
Титан и его двуокись	10	4	
Торий	0,05	1	
Трехокиси ванадия и пятиокиси пыль	0,5	2	
Фтористый водород	0,5	2	П
Соли фтористоводородной кислоты (в пересчете на HF)	1	2	А
Хромовый ангидрид, хроматы, бихроматы (в пересчете на CrO_3)	0,01	1	

Примечание: 1. При длительности работы в атмосфере, содержащей окись углерода, не более 1 ч ПДК окиси углерода может быть повышена до 50 мг/м³, при длительности работы не более 30 мин — до 100 мг/м³, при длительности работы не более 15 мин — до 200 мг/м³. Повторные работы в условиях повышенного содержания окиси углерода в воздухе рабочей зоны могут производиться с перерывом не менее чем 2 ч.

2. Указаны преимущественные агрегатные состояния веществ в условиях производства: П — пары и (или) газы, А — аэрозоли.

3. По степени воздействия на организм человека вредные вещества делят на четыре класса: 1 — чрезвычайно опасные; 2 — высокоопасные; 3 — умеренно опасные; 4 — малоопасные.

г) при расчете по количеству выделяющихся вредных веществ

$$L_4 = L_{о.з} + \frac{Z - L_{о.з}(z_{о.з} - z_п)}{z_{ух} - z_п},$$

где $L_{о.з}$ — количество воздуха, удаляемого из рабочей или обслуживаемой зоны помещения местными отсосами, общеобменной вентиляцией и на технологические и другие нужды, м³/ч, при плотности воздуха 1,2 кг/м³; $Q_в$, $Q_п$ — избытки соответственно явного и полного тепла в помещении, ккал/ч; $t_{о.з}$ — температура воздуха, удаляемого из рабочей или обслуживаемой зоны помещения местными отсосами, общеобменной вентиляцией и на технологические и другие нужды,

°С; $t_{ух}$ — температура воздуха, удаляемого из помещения за пределами рабочей или обслуживаемой зоны, °С; $t_п$ — температура воздуха, подаваемого в помещение, °С; W — избытки влаги в помещении, г/ч; $d_{о.з}$ — влагосодержание воздуха, удаляемого из рабочей или обслуживаемой зоны помещения местными отсосами, общеобменной вентиляцией и на технологические и другие нужды, г/кг; $d_{ух}$ — влагосодержание воздуха, удаляемого из помещения за пределами рабочей или обслуживаемой зоны, г/кг; $d_п$ — влагосодержание воздуха, подаваемого в помещение, г/кг; $I_{о.з}$ — энтальпия воздуха, удаляемого из рабочей или обслуживаемой зоны помещения местными отсосами, общеобменной вентиляцией и на технологические и другие нужды, ккал/кг; $I_{ух}$ — энтальпия воздуха, удаляемого из помещения за пределами рабочей или обслуживаемой зоны, ккал/кг; $I_п$ — энтальпия воздуха, подаваемого в помещение, ккал/кг; Z — количество вредных веществ, поступающих в воздух помещения, мг/ч; $z_{о.з}$ — концентрация вредных веществ соответственно в воздухе, удаляемом из рабочей или обслуживаемой зоны местными отсосами, общеобменной вентиляцией и на технологические и другие нужды, мг/м³; $z_{ух}$ — концентрация вредных веществ в воздухе, удаляемом из помещения за пределами рабочей или обслуживаемой зоны, мг/м³; $z_п$ — концентрация вредных веществ в воздухе, подаваемом в помещение, мг/м³.

Для воздуха, поступающего в приемные отверстия и проемы местных отсосов, общеобменной вентиляции, технологических и других устройств, расположенных в рабочей или обслуживаемой зоне помещений, рекомендуется принимать $t_{о.з} = t_{норм}$; $d_{о.з} = d_{норм}$; $I_{о.з} = I_{норм}$; $z_{о.з} = ПДК$, где $t_{норм}$ — нормируемая температура в рабочей или обслуживаемой зоне, °С; $d_{норм}$, $I_{норм}$ — соответственно влагосодержание (г/кг) и энтальпия (ккал/кг) воздуха в рабочей или обслуживаемой зоне, определяемые на основе нормируемых величин для температуры и относительной влажности воздуха в рабочей или обслуживаемой зоне; ПДК — предельно допустимые концентрации вредных веществ в рабочей зоне помещений (мг/м³), принимаемые по «Санитарным нормам проектирования промышленных предприятий» и другим нормативным документам.

При одновременном содержании в воздухе рабочей зоны нескольких вредных веществ однонаправленного действия расчет общеобменной вентиляции надлежит производить путем суммирования объемов воздуха, необходимых для разбавления каждого вещества в отдельности по его ПДК с учетом загрязнения приточного воздуха. При этом допустимыми для проектирования и санитарного надзора следует считать такие концентрации C вредных веществ, которые отвечают формуле

$$\frac{C_1}{ПДК_1}+\frac{C_2}{ПДК_2}+\ldots+\frac{C_n}{ПДК_n}\leqslant 1,$$

т. е. сумма отношений фактических концентраций вредных веществ (C_1, C_2, ..., C_n) в воздухе помещений к их предельно допустимым концентрациям ($ПДК_1$, $ПДК_2$, ..., $ПДК_n$), которые установлены для изолированного присутствия, не должна превышать единицы.

При одновременном выделении в воздухе рабочей зоны помещений нескольких вредных веществ, не обладающих однонаправленным характером действия, количество воздуха при расчете общеобменной вентиляции допускается принимать по тому вредному веществу, для которого требуется подача наибольшего объема чистого воздуха.

В сварочных цехах на стационарных рабочих постах, а также, где это возможно, на нестационарных постах следует устраивать местные отсосы.

Оборудование для автоматической сварки под флюсом на стационарных постах должно иметь приспособление для механизированной засыпки флюса в сварочную ванну и флюсоотсос для уборки неиспользованного флюса.

На стационарных постах очистку от шлаковой корки следует осуществлять механизированно с аспирацией пыли, а при сварке полуавтоматами и сварочными тракторами допускается очистка швов вручную щетками-скребками с обязательным использованием передвижных флюсоотсасывающих аппаратов.

3. Рекомендации по проектированию местных отсосов для сварочных постов [28]

Технологическое оборудование или место расположения укрытий	Тип местного отсоса	Объем отсасываемого воздуха, м³/ч
Ручная электродуговая сварка		
Столы: для ручной сварки мелких изделий с надвижным укрытием и поворотным диском для ручной сварки	Вытяжной шкаф с размером открытого проема 700×400 мм	600—800*1
	Отсос: с надвижным укрытием без надвижного укрытия [12]	1200*2 $4H+820$, где H — расстояние от сварочной дуги до плоскости стола
на стационарных постах и площади, ограниченной радиусом до 4,5 м	Панели равномерного всасывания односторонние, с верхним или нижним отсосом, размерами 600×645, 750×645, 900×645 мм [14]	По расчету *3
В закрытых и полузакрытых объемах	Отсос от сварочной дуги системы ЛИОТ с применением вакуумных установок [14]	150*4
	При притоке или вытяжке через гибкий шланг, вводимый в замкнутый объем:	
	при резке	1000
	при сварке	2000
Автоматическая и полуавтоматическая сварка под слоем флюса		
Универсальный автомат АБС: при сварке	Встроенный отсос конструкции ИЭС им Патона, работающий от эжектора флюсоотсоса [13]	35—42
при наплавке	Приближенный щелевой отсос [12]	800
Самоходная сварочная головка САГ-4	Приближенный воронкообразный отсос на расстоянии 50 мм от слоя флюса [13]	—
Сварочный трактор: ТС-17МУ	Из двух изогнутых патрубков с креплением к бункеру для флюса [13]	—
ТС-30	Из изогнутой трубы диаметром 60 мм [13]	—
АДС-1000-2 для сварки стыковыми и угловыми швами	Из двух воронок, расположенных на высоте 40 мм от слоя флюса [13]	—
АДС-1000-3: для сварки круговыми швами	Флюсоотсос [12]	40
для сварки внутренним швом	Приближенный отсос	60
АДС-500 или АДСД-500	То же [12]	45
УТ-1250, УТ-1500, УТ-2000	Из двух воронок и изогнутых патрубков, закрепляемых на бункере для флюса [13]	—
Автомат: АДШМ-500 для автоматической и полуавтоматической сварки	Из двух воронок и изогнутых патрубков [13]	—
АДОБ-300	Отсос от головки из изогнутого патрубка [13]	—
АДОБ-300 со следящим устройством	Приближенный горизонтальный отсос [12]	130
	То же [13]	200

Продолжение табл. 3

Технологическое оборудование или место расположения укрытий	Тип местного отсоса	Объем отсасываемого воздуха, м³/ч
Головка типа: КДС-1000 для сварки круглых патрубков продольным наружным швом	Щелевой отсос автомата [12]	1650
ПДШМ-500, установленная на подъемно-поворотной консоли	Перфорированный отсос автомата [12]	35
Полуавтоматические головки ПШ-5У, ДШ-14, АДШМ-500 и др.	Патрубок с воронкой, крепящийся к воронке для флюса [13]	—
Автоматы и полуавтоматы для электрошлаковой сварки	Подвижный всасывающий насадок, соединенный гибким шлангом с вентилятором, или подвижная панель равномерного всасывания размером 200×300 мм	По расчету *5
Сварка в среде защитных газов		
Автомат: АДК-500-6 для сварки в среде углекислого газа	Верхний щелевой отсос [12]	500
АДСП-1 для сварки в среде аргона	Горизонтальный щелевой отсос	200
Автоматическая сварка неплавящимся электродом		
Аппарат с угольным электродом для сварки круглыми торцовыми швами	Приближенный боковой отсос [12]	275
Газопламенная обработка металлов		
Стол для кислородно-ацетиленовой сварки	Вытяжной шкаф	1000
Раскроечный стол для машинной резки	Нижний секционный отсос размером 1,5×1,5 м [11]	6000*6 (дополнительно добавляется по 800 м³/ч на подсосы через каждую выключенную секцию)
Машина: АСШ-2 для кислородной разделительной резки листовой стали	Отсос от решетки у стола [12]	4 800
для кислородной разделительной резки цветных металлов и коррозионно-стойких сталей	Отсос от камеры [12]	25 000
Контактная сварка		
Машина: МТП-75 для точечной сварки	Верхний отсос от места сварки	380
МТП-75, АТП-10 и МТП-25М для точечной сварки	Щелевой отсос от электрода	380
МСМУ-150 для стыковой сварки	Укрытие-отсос	700
СМ-50-2	Укрытие-отсос	500
Сварка трением		
Машина типа МФ-327 для сварки трением	Приближенный отсос	200

Продолжение табл. 3

Технологическое оборудование или место расположения укрытий	Тип местного отсоса	Объем отсасываемого воздуха, м³/ч
Плазменная сварка и резка металлов		
Стол для плазменного напыления алюминиевого порошка пистолетом типа УМП-4-64	Кабина	3000
Установка ХТТ-1-58 для плазменной резки металла	Отсос из-под стола [12]	2600
Металлизация		
Стол для цинкования стали с ручным электрометаллизатором М-3А	Кабина	3600

Скорость воздуха: *1 0,5—0,7 м/с в рабочем проеме; *2 0,5 м/с в рабочем проеме; *3 3—4 м/с в живом сечении панели с проверкой по скорости у источника выделения вредных веществ; *4 6,5 м/с; *5 3—4 м/с в живом сечении; *6 2,5—3,3 м/с в живом сечении.

В специальных помещениях или металлических шкафах для хранения баллонов со сжиженным газом должна быть предусмотрена естественная вентиляция через верхние и нижние части помещений или шкафов.

Скорость движения воздуха, создаваемая местными отсосами у источников выделения вредных веществ, должна быть следующая:

Процесс	v, м/с
Сварка:	
ручная	$\geqslant 0{,}5$
в углекислом газе	$\leqslant 0{,}5$
в инертных газах	$\leqslant 0{,}3$
Резка:	
титановых сплавов и низколегированных сталей:	
газовая	$\geqslant 1{,}0$
плазменная	$\geqslant 1{,}4$
плазменная алюминиевомагниевых сплавов и высоколегированных сталей	$\geqslant 1{,}8$
Плазменное напыление	$\geqslant 1{,}3$
Заточка торированных вольфрамовых электродов	$\geqslant 1{,}5$

Рекомендации по проектированию местных отсосов приведены в табл. 3.

Количество вредных веществ, локализуемых местными отсосами, составляет для вытяжных шкафов не более 90%, а для местных отсосов других видов не более 75%. Оставшееся количество вредных веществ (10—25%) должно разбавляться до ПДК с помощью общеобменной вентиляции.

При расходе сварочных материалов на 1 м³ объема цеха менее 0,2 г/ч и при наличии в здании цеха аэрационных фонарей и значительной площади открываемого бокового остекления устройство общеобменной вентиляции необязательно. В указанный расход не входит расход хромоникелевых сварочных материалов, так как сварку и наплавку изделий с использованием таких материалов следует производить в изолированных помещениях. Выполнение этих работ допускается и в общих помещениях, но при условии, что расход хромоникелевых сварочных материалов по отношению к расходу других сварочных материалов на стационарных постах, оборудованных местными отсосами, не превышает 5% или составляет не более 0,25 кг/ч на 1000 м³ объема помещений.

Количество воздуха, необходимое для растворения до ПДК вредных веществ, наиболее часто встречающихся в воздухе сварочных цехов, должно находиться в пределах, указанных в табл. 4 [31] и 5.

Расчетные параметры наружного воздуха следует принимать согласно нормам проектирования отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха [36].

4. Количество воздуха, необходимое для растворения сварочных аэрозолей до ПДК [31]

Технологическая операция	Сварочные материалы	Валовые выделения вредных веществ, определяющих воздухообмен, г на 1 кг расходуемого сварочного материала		Количество воздуха, м³ на 1 кг расходуемого сварочного материала
		Наименование	Количество	
Сварка и наплавка электродами, порошковой, электродной и присадочной проволоками				
Ручная дуговая сварка: углеродистых и низколегированных конструкционных сталей	Электроды с покрытием газозащитного типа ОМА-2	Марганец	0,83	2800
	ВСЦ-4, ВСЦ-4а	Окись железа с примесью окислов марганца до 3%	20,0—24,2	3400—4000
	рутилового и рутил-карбонатного типа ОЗС-3	То же	15,3	2500
	АНО-1, ОЗС-6	Окись железа с примесью фтористых или от 3 до 6% марганцевых соединений	7,1—13,8	1800—3400
	АНО-3, АНО-4, МР-3, МР-4, ЗРС-3, РБУ-4, ОЗС-4, АНО-5, ОЗС-12	Марганец	0,59—1,87	2000—6200
	фтористо-кальциевого типа УОНИ-13/45, УОНИ-13/85, СК-2-50	Окись железа с примесью фтористых или от 3 до 6% марганцевых соединений	11,2—13,6	2800—3400
	ВСФ-65, ВСФ-60, УОНИ-13/65, К-5а, АНО-7	Марганец	1,1—1,53	3700—5100
	ЭБ-55, УОНИ-13/55, УОНИ-13/55у, УОНИ-13/55Д	Фтористый водород	2,13—2,7	4300—5400
	рудно-кислого и ильменитового типа ЦМ-7, ОММ-5, СМ-5, АНО-6*	Марганец	1,7—2,38	5700—8000
теплоустойчивых сталей	Электроды с покрытием фтористо-кальциевого типа (ЦЛ-20м, ЦЛ-17)*	Хромовый ангидрид	0,085—0,166	8500—16 600
коррозионно-стойкой, жаростойкой и жаропрочной сталей	Электроды с покрытием рутилового и рутил-карбонатного типа (ОЗЛ-9А, НИАТ-1, ОЗЛ-14)*	То же	0,273—0,46	27 300—46 000
	фтористо-кальциевого типа (ОЗЛ-20, ВИИМ-1, ОЗЛ-7, ЦТ-15, ЭА-400/10У, НЖ-13, ЦТ-28, ИМЕТ-10; ЦЛ-9)*	»	0,1—0,595	10 000—59 500
	ЦТ-36	Марганец	1,19	4000
высокопрочных среднелегированных сталей	Электроды с покрытием фтористо-кальциевого типа (ЭА-395/9, ЭА-981/15, ВИ-10-6)*	Хромовый ангидрид	0,425—0,72	42 500—72 000

Продолжение табл. 4

Технологическая операция	Сварочные материалы	Валовые выделения вредных веществ, определяющих воздухообмен, г на 1 кг расходуемого сварочного материала		Количество воздуха, м³ на 1 кг расходуемого сварочного материала
		Наименование	Количество	
Ручная дуговая наплавка: слоя низколегированной стали	Электроды с покрытием фтористо-кальциевого типа ОЗН-250*	Окись железа с примесью фтористых или от 3 до 6% марганцевых соединений	22,4	5600
	НР-70*, ОЗН-300* (ОЗШ-1, ЭН-60М, УОНИ-13/НЖ,	Марганец	3,9—4,42	11 000—14 700
	ЦН-6Л, ОЗИ-3)*	Хромовый ангидрид	0,145—0,393	14 500—39 000
слоя хромистой стали	Электроды с покрытием фтористо-кальциевого типа (ВСН-6, ОМГ-Н)**	То же	0,29—1,54	29 000—154 000
слоя высокохромистого чугуна или стали	Электроды, легированные хромом (Т-590, Т-260)**	»	2,87—3,7	287 000—370 000
Ручная дуговая сварка и наплавка чугуна	Электроды с покрытием фтористо-кальциевого типа			
	железо-ванадиевые ЦЧ-4*	Ванадий, дым пятиокиси	0,54	5400
	медные и медноникелевые МНЧ-2, ОЗЧ-1*	Медь	4,42—6,05	4400—6100
Ручная сварка и наплавка меди и ее сплавов	Электроды с покрытием фтористо-кальциевого типа «Комсомолец-100»*	Марганец	3,9	13 000
Полуавтоматическая сварка стали: без газовой защиты	Присадочная проволока и керамический стержень ЦСК-3, ЭП-245	Марганец	1,11	3700
		Окись железа с примесью фтористых или от 3 до 6% марганцевых соединений	12,4	3100
то же	Порошковые проволоки: ЭПС-15/2*	Марганец	0,89	2900
	(ПП-ДСК1, ПП-ДСК2, ПСК-3)*	Окись железа с примесью фтористых или от 3 до 6% марганцевых соединений	7,7—11,7	1900—2900
	ПП-АН3*	Фтористый водород	2,7	5400
с защитой углекислым газом	Порошковые проволоки: ПП-АН4*	То же	1,95	3900
	ПП-АН8*	Марганец	2,18	7300
то же	Электродные проволоки: Св-08Г2С	Железа окись с примесью фтористых или от 3 до 6% марганцевых соединений	8,0	2600
	Св-10Г2Н2СМТ	Железа окись с примесью до 3% окислов марганца	12,0	4000
	Хромоникелевые электродные проволоки Св-08Х19Н9Ф2Ц2, Св-Г6Х16Н25М6*	Хромовый ангидрид	0,5—1,0	50 000—100 000

Продолжение табл. 4

Технологическая операция	Сварочные материалы	Валовые выделения вредных веществ, определяющих воздухообмен, г на 1 кг расходуемого сварочного материала		Количество воздуха, м³ на 1 кг расходуемого сварочного материала
		Наименование	Количество	
Полуавтоматическая сварка меди и ее сплавов:				
с защитой азотом	Электродная проволока МНЖ-КТ5-1-0,2-0,2*	Медь	7,0	7 000
с защитой смесью аргона и гелия	Электродная проволока МНЖ-КТ5-1-0,2-0,2*	»	11,0	11 000
Ручная сварка алюминия и его сплавов	Электроды (ОЗА-1, ОЗА-2/АК)*	Алюминия окись в виде аэрозоля конденсации	20,0—28,0	10 000—14 000
Полуавтоматическая аргонодуговая сварка плавящимся электродом:				
алюминия и его сплавов	Электродные проволоки (Д-20, АМЦ, АМГ-6Т, АМГ, сплав-3)*	Алюминия окись в виде аэрозоля конденсации	7,6—28,0	3 800—14 000
титановых сплавов	Электродные проволоки	Титан и его двуокись	4,75	500
Наплавка литыми твердыми сплавами и карбидно-боридными соединениями				
Ручная наплавка:				
электродуговая	Литые твердые сплавы (С-27, В-2К)**	Хромовый ангидрид	1,01—1,66	101 000—166 000
	Стержневые электроды с легирующим покрытием (КБХ-45, БХ-2, ХР-19)**	То же	2,12—4,35	212 000—435 000
	Наплавочные смеси: КБХ*	»	0,033	3 300
	БХ*	Железа окись с примесью фтористых или от 3 до 6% марганцевых соединений	54,2	9 000
	Сталинит М*	Марганец	9,48	31 600
газовая	Литые твердые сплавы: С-27	Железа окись с примесью фтористых или от 3 до 6% марганцевых соединений	3,16	800
	В-2К*	Хромовый ангидрид	0,475	47 500
	Литые карбиды трубчатые РЭЛИТ-Т3	Вольфрам	3,94	650
Полуавтоматическое газовое напыление	Порошки для напыления (СНГН ВСНГН)*	Хромовый ангидрид	0,063—0,357	6300—35 700

Продолжение табл. 4

Технологическая операция	Сварочные материалы	Валовые выделения вредных веществ, определяющих воздухообмен, г на 1 кг расходуемого сварочного материала		Количество воздуха, м³ на 1 кг расходуемого сварочного материала
		Наименование	Количество	
Сварка и наплавка под плавленными и керамическими флюсами				
Автоматическая и полуавтоматическая сварка: под плавленными флюсами: стали	Электродные проволоки, флюсы: ФЦ-2А, ФЦ-6, ФЦ-7, ФЦ-12, АН-26, АН-64, 48-ОФ-6М, ОСЦ-45	Фтористый водород	0,017—0,2	40—400
	АН-30, АН-60, АН-348А, 48-ОФ-11	Марганец	0,012—0,07	40—250
алюминия и его сплавов	Электродная проволока, флюс АН-А1*	Алюминия окись в виде аэрозоля конденсации	31,2	15 600
под керамическими флюсами: стали	Электродные проволоки, флюсы: К-8, ЖС-450, КС-12ГА2	Углерода окись	17,8—22,4	900—1100
	К-11	Марганец	0,089	300
	АНК-18, К-1	Фтористый водород	0,042—0,15	80—300
алюминия и его сплавов	Электродная проволока, флюс ЖА-64	Фтористый водород	0,076	150

* Требуется дополнительное применение респиратора или подача чистого воздуха под маску.

** Обязательно устройство местной вытяжной вентиляции и дополнительное применение респиратора.

5. Количество воздуха, необходимое для растворения вредных веществ до ПДК при контактной электросварке, сварке трением, плазменном напылении, металлизации, электродуговой и газопламенной резке, сварке [31]

Технологическая операция	Вредные вещества, определяющие воздухообмен		Количество воздуха, м³
	Наименование	Количество	
Контактная электросварка стали:			
стыковая	Окись железа с примесью до 3% окислов марганца	25 г/ч на 75 кВА номинальной мощности	4000
точечная	То же	2,5 г/ч на 50 кВА	400
Сварка трением	Окись углерода	8 мг на 1 см² площади стыка	0,4
Плазменное напыление	Окись алюминия в виде аэрозоля	77,5 г на 1 кг расходуемого порошка	38700

Продолжение табл. 5

Технологическая операция	Вредные вещества, определяющие воздухообмен		Количество воздуха, м³
	Наименование	Количество	
Металлизация стали цинком	Окись цинка	96 г на 1 кг расходуемой проволоки	16 000
Газовая резка:			
высокомарганцовистых сталей	Марганец	0,12 г на 1 м длины реза, толщиной 1 мм	400
углеродистых и низколегированных сталей	Окись железа с примесью до 3% окислов марганца	0,45 г на 1 м длины реза, толщиной 1 мм	75
титановых сплавов	Титан и его двуокись	0,15 г на 1 м длины реза, толщиной 1 мм	150
Электродуговая резка алюминиевых сплавов	Окись алюминия в виде аэрозоля	0,2 г на 1 м длины реза, толщиной 1 мм	100
Газовая сварка сталей:			
ацетилено-кислородным пламенем	Окись азота	22 г на 1 кг ацетилена	4400
с использованием пропан-бутановой смеси	То же	15 г на 1 кг смеси	3000

Раздачу приточного воздуха необходимо осуществлять:

а) рассеянно в рабочую зону помещений в основном на несварочные участки при сварке в среде инертных газов, а также там, где вытяжная вентиляция осуществлена посредством местных отсосов; при этом скорость движения воздуха на рабочих местах должна быть не более 0,3 м/с;

б) сосредоточенно в верхнюю зону помещений в остальных случаях.

Скорость движения воздуха в рабочей зоне должна находиться в пределах 0,3—0,9 м/с при электродуговой сварке и наплавке и быть не более 0,5 м/с при других видах сварки.

При газопламенной обработке металлов с использованием сжиженных газов и отсутствии местных отсосов $^2/_3$ воздуха следует удалять из нижней зоны помещений и $^1/_3$ из верхней (естественным и механическим путем).

В многопролетных зданиях с целью предотвращения перетекания сварочного аэрозоля в помещения, где сварка не производится, пролеты вдоль линии раздела должны иметь перегородки, не доходящие до уровня пола на 2,5 м.

Сварочные участки, сообщающиеся проемами со смежными помещениями, где не производится сварка и резка металлов, должны иметь вытяжную вентиляцию с механическим побуждением независимо от наличия фонарей.

При сварке внутри изделий следует предусматривать местную вытяжку или осуществлять общеобменную вентиляцию как за счет удаления из них загрязненного воздуха, так и путем подачи в них чистого воздуха. Возможно применение вытяжных высоковакуумных установок с малогабаритными передвижными местными отсосами. При вентилировании внутри изделий за счет общеобменной вытяжной вентиляции объемы удаляемого воздуха нужно определять расчетом. При сварке внутри изделий, размещенных в помещении, скорость движения воздуха на рабочем месте должна составлять 0,7—2,0 м/с, а температура подаваемого воздуха должна быть не ниже +20° С.

При невозможности осуществления местной вытяжки или общеобменного вентилирования внутри изделий следует предусматривать принудительную подачу под маску сварщика чистого воздуха в количестве 6—8 м³/ч, в холодный период года подогретого до температуры не ниже +18° С.

Такая подача воздуха целесообразна также при сварке изделий с антикоррозионными покрытиями, а также при работе в помещении при высоких концентрациях сварочного аэрозоля, когда нет возможности организовать эффективную местную вентиляцию, например, при электросварке цветных металлов, чугуна.

ОСВЕЩЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Проектирование, устройство и эксплуатация освещения должны выполняться в соответствии с требованиями санитарных правил [31], действующих СНиП [33, 34], а также правил устройства электроустановок [27].

Во всех производственных помещениях, в которых постоянно пребывают люди, должно быть предусмотрено естественное освещение [33].

В вечернее время и при недостаточности естественного освещения в дневное время применяют искусственное освещение.

Для сборочно-сварочных цехов и участков можно применять общее или комбинированное (т. е. общее и местное) освещение. Общее освещение может быть равномерным или локализованным.

Во многих случаях работа при сварке и резке может быть отнесена к работам малой точности (к V разряду), однако нередко характеристика и разряд работы бывают иными, например при разметке, и нуждаются в определении по общей методике.

В помещениях плазменного напыления и резки, а также электронно-лучевой обработки металлов должно быть предусмотрено аварийное освещение для продолжения работы. Аварийное освещение для эвакуации людей надлежит устраивать в местах, опасных для прохода, на лестничных клетках и в производственных помещениях с числом работающих более 50. Оно должно обеспечивать освещенность на полу не менее 0,5 лк.

Освещение внутри изделий с замкнутыми контурами — резервуаров, котлов, цистерн, отсеков судов и т. п. необходимо осуществлять с помощью светильников направленного света, расположенных снаружи свариваемого объекта, или с помощью ручных переносных ламп.

Световые фонари, окна и светильники должны подвергаться очистке, регулярность которой определяется нормами [34] в зависимости от степени загрязненности воздуха пылью и копотью. В помещениях с чистым воздухом светильники чистят не реже I раза в три месяца, а в помещениях с сильно загрязненным воздухом — не реже 2 раз в месяц.

Цветовая отделка интерьеров помещений и оборудования в сборочно-сварочных цехах должна соответствовать указаниям по проектированию цветовой отделки интерьеров производственных зданий промышленных предприятий [37].

Для ослабления контраста между яркостью дуги, поверхностью стен и оборудованием их следует окрашивать в светлые тона с диффузным (рассеянным) отражением света [31].

ЗАЩИТА ОТ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ШУМА, УЛЬТРАЗВУКА И ВИБРАЦИЙ

Нормируемыми параметрами шума являются уровни в децибелах среднеквадратичных звуковых давлений, измеряемых по линейной характеристике шумомера (по шкале С) в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц. Уровень звукового давления

$$L = 20 \lg \frac{p}{2 \cdot 10^{-5}},$$

где p — звуковое давление, Н/м²; $2 \cdot 10^{-5}$ — пороговая величина среднеквадратичного звукового давления.

Для ориентировочной оценки шума допускается использовать общий его уровень, измеряемый по шкале A шумомера и называемый уровнем звука.

Уровни шума в сборочно-сварочных цехах и в помещениях плазменной обработки металлов не должны превышать величин, установленных «Санитарными нормами проектирования промышленных предприятий» [30].

Наиболее эффективной мерой борьбы с шумом является уменьшение шума в его источнике. Однако в сборочно-сварочных цехах чаще стремятся уменьшить шум на пути его распространения, применяя для этого звукопоглощение и звукоизоляцию.

Вращающиеся преобразователи следует располагать в отдельных помещениях или на специально выгороженных участках. В таких случаях звукоизолирующая способность (дБ) однородной перегородки

$$R = 20 \lg (Gf) - 60,$$

где G — масса 1 м² ограждения, кг; f — частота, Гц.

Отдельные машины можно закрывать звукоизолирующими кожухами, изготовленными из дерева, металла или пластмассы. Внутреннюю поверхность кожуха обязательно облицовывают звукопоглощающим материалом.

Эффективность установки кожуха (дБ)

$$\Delta L = R + 10 \lg \alpha,$$

где α — коэффициент звукопоглощения материала, нанесенного на внутреннюю поверхность кожуха.

Применение звукоизолирующих кожухов для сварочных преобразователей усложняется необходимостью обеспечить машину в кожухе вентиляцией и обязательным наличием глушителей на входе и на выходе воздуха.

При плазменном напылении стены кабин должны быть покрыты звукопоглощающей облицовкой из материала с коэффициентом звукопоглощения не менее 0,7.

Шум воздушной струи при сбросе сжатого воздуха из пневматических цилиндров машин и приспособлений может быть снижен на 20 дБ и более в широком диапазоне частот путем установки глушителя. Можно применить, например, малогабаритные глушители с оболочкой из пористой меди конструкции Горьковского автозавода [20].

Применяемые в производстве ультразвуковые установки мощностью до нескольких киловатт могут создавать угрозу здоровью работающих. Согласно действующим нормам [30] уровни звуковых давлений в диапазоне частот 11—20 кГц для рабочих мест не должны превышать 75—110 дБ, а общий уровень звука в диапазоне частот 20—100 кГц не должен превышать 110 дБ. При сокращении длительности воздействия допустимые уровни могут быть повышены. При разработке мер защиты от ультразвука следует учитывать, что он может действовать на человека не только через воздух, но и через жидкую или твердую среду (контактное воздействие на руки).

Защиту от ультразвука при воздействии через воздух можно обеспечить следующими путями.

1. В оборудовании нужно использовать более высокие рабочие частоты, для которых нормами установлены и более высокие допустимые уровни звукового давления. Не следует использовать частоты ниже 20—22 кГц.

2. Оборудование, излучающее ультразвуки, следует заключать в звукоизолирующие кожухи, которые можно изготовлять из листовой стали или дюралюминия толщиной 1 мм с обклейкой резиной или рубероидом, из гетинакса толщиной 3—5 мм. Эластичные кожухи изготовляют из трех слоев резины общей толщиной 3—5 мм. Применение кожухов позволяет снизить уровень ультразвука на 60—80 дБ.

3. Между работающими и оборудованием можно располагать экраны, в частности, прозрачные.

4. Ультразвуковые установки следует размещать в специальных помещениях или кабинах, если перечисленные выше более простые меры не могут обеспечить нужный эффект.

Защита от наиболее вредного контактного воздействия сводится к выключению источника ультразвука во время загрузки и выгрузки обрабатываемых или свариваемых деталей. Хорошую защиту обеспечивают также резиновые перчатки или облицовка мест возможного прикосновения виброизолирующим покрытием (пористая резина, поролон и т. п.).

Механические колебания упругой среды могут выражаться не только в виде слышимых звуков и ультразвука, но и в виде вибрации, передаваемой на руки (местная вибрация) или на тело работающего (общая вибрация).

При эксплуатации ручных механизированных инструментов следует руководствоваться «Санитарными нормами и правилами при работе с инструментами, механизмами и оборудованием, создающим вибрации, передаваемые на руки работающих» [29].

При вибрациях, возбуждаемых работой оборудования (машин, станков, электродвигателей, вентиляторов и т. п.) и передаваемых на рабочие места в производственных помещениях (сиденья, пол, рабочая площадка), нормируемыми параметрами являются среднеквадратичные величины колебательной скорости в октавных полосах частот или амплитуды перемещений [30].

Борьбу с вибрациями желательно проводить в источнике их возникновения при конструировании и изготовлении машин и проектировании технологических процессов. Снижение уровня вибрации может быть достигнуто виброгашением, которое чаще реализуется путем установки вибрирующих агрегатов на самостоятельные виброгасящие основания (фундаменты). Виброизоляцию применяют для защиты конкретных объектов от передачи им вибраций, создаваемых источником колебаний. Виброизоляция сводится к замене в колеблющейся системе некоторых жестких связей упругими связями, являющимися виброизоляторами.

При работе ручным механизированным электрическим или пневматическим инструментом следует применять индивидуальные средства защиты в виде виброизолирующих рукавиц и перчаток, виброзащитных рукояток инструмента или прокладок. Общие технические требования к такой защите определены ГОСТ 12.4.002—75.

Для работающих с вибрирующим оборудованием рекомендуется организовывать 10—15-минутные перерывы после каждого часа работы и проводить комплекс физиопрофилактических мероприятий.

ЗАЩИТА ОТ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Вредное воздействие ионизирующих излучений на организм человека, возможное при рентгеновском или гамма-контроле качества сварных швов, при работе электронно-лучевых установок, а также при использовании торированных вольфрамовых электродов, зависит от вида и интенсивности излучения, расстояния от его источника, времени воздействия и индивидуальных особенностей организма.

Энергия излучения, поглощенная единицей массы облучаемого вещества, называется поглощенной дозой излучения $Д_{погл}$. Внесистемной единицей поглощенной дозы излучения служит рад (1 рад = 10^{-2} Дж/кг).

В связи с тем, что одинаковая поглощенная доза различных видов излучения вызывает в живой ткани различное биологическое действие, для оценки радиационной опасности хронического облучения излучениями различных видов введены понятия коэффициента качества (КК) и эквивалентной дозы $Д_{экв}$. Последняя характеризует биологическое воздействие облучения с учетом как поглощенной энергии, так и характера излучения:

$$Д_{экв} = Д_{погл} \cdot КК \cdot КР,$$

где $КК$ — коэффициент качества, показывающий отношение биологической эффективности данного вида излучения и рентгеновых лучей с энергией 250 кэВ при одинаковой поглощенной дозе; $КР$ — коэффициент распределения дозы, учитывающий влияние неоднородности распределения радиоактивных изотопов на их канцерогенную эффективность по отношению к радию-226.

Единицей измерения эквивалентной дозы служит биологический эквивалент рада — бэр. За 1 бэр принимается такая поглощенная доза любого вида излучения, которая при хроническом облучении вызывает такой же биологический эффект,

что и 1 рад рентгеновского или гамма-излучения. Дозы, создаваемые различными видами излучения, выраженные одинаковым числом единиц бэр, при одинаковых условиях облучения будут эквивалентны по биологическому действию.

Действующими нормами [15] установлены предельно допустимые дозы (ПДД) облучения людей. В качестве ПДД принят годовой уровень облучения персонала не вызывающий при равномерном накоплении дозы в течение 50 лет обнаруживаемых современными методами неблагоприятных изменений в состоянии здоровья самого облучаемого и его потомства.

В соответствии с возможными последствиями воздействия ионизирующих излучений на организм установлены следующие категории облучаемых лиц: А — персонал; Б — отдельные лица из населения; В — население в целом. ПДД внешнего и внутреннего облучения установлены для четырех групп критических органов и тканей.

Предельно допустимая доза (бэр) для лиц категории А в группе I (все тело) за ряд лет должна быть не более

$$Д = 5\,(N - 18),$$

где N — возраст в годах.

Во всех случаях доза, накопленная в возрасте 30 лет, не должна превышать 60 бэр.

Отдельные лица из персонала, за исключением женщин в возрасте до 30 лет, могут получить однократно в течение одного квартала дозу для всего организма, не превышающую 3 бэр. Для женщин в возрасте до 30 лет однократная доза в течение одного квартала не должна превышать 1,3 бэр.

Для обеспечения безопасности работ необходимо строго соблюдать «Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений» ОСП-72 [17].

Задача защиты от ионизирующих излучений, в конечном счете, сводится к уменьшению поглощенной дозы. Этого можно добиться удалением облучаемого персонала на безопасное расстояние от источника излучения или сокращением времени облучения.

При точечном источнике излучения экспозиционная доза (в рентгенах) на рабочем месте

$$Д_{экс} = \frac{aK_\gamma t}{R^2} = \frac{8{,}4Mt}{R^2},$$

где a — активность источника, мКи; K_γ — гамма-постоянная изотопа; M — гамма-эквивалент препарата, мг·экв Ra; t — время облучения, ч; R — расстояние, см.

В тех случаях, когда «защиту расстоянием» или «защиту временем» обеспечить невозможно, прибегают к сооружению экранов или других ограждений из различных материалов. Передвижные экраны для защиты от рентгеновского или гамма-излучения часто делают из свинца; при создании стационарной защиты удобно использовать бетон с добавлением в него барита или применением баритовой штукатурки. Расчет толщины экранов и ограждений в зависимости от энергии излучения обычно производят по специальным таблицам или номограммам [18].

С целью проверки соблюдения норм радиационной безопасности и получения информации о дозе облучения персонала согласно действующим правилам [17] должен быть организован радиационный контроль с использованием стационарных и переносных приборов, а также индивидуальных дозиметров.

Электронно-лучевые установки, работающие при напряжении от 10 до 100 кВ, относятся к группе источников рентгеновского излучения, не используемого для технологических целей.

Толщину защиты электронной пушки электронно-лучевых установок с фокусирующей и отклоняющей системами плавильной и сварочной камер рассчитывают в соответствии с рабочим напряжением установки и максимальной силой тока. Смотровые окна должны быть снабжены свинцовыми стеклами с толщиной, эквивалентной защите камеры, а для плавильных установок оборудованы перископическими устройствами.

Установки, предназначенные для сварки должны размещаться в отдельных помещениях на первом этаже. Подвальные помещения, над которыми размещены электронно-лучевые установки, использовать под служебные помещения с местами постоянного пребывания людей запрещается.

Расположение электронно-лучевых установок в отведенных для них помещениях должно удовлетворять следующим основным требованиям:

а) свободная площадь, не занятая электронно-лучевыми установками, должна составлять не менее половины общей площади помещений;

б) расстояние от верха установок до потолка должно быть не менее 1 м;

в) пульт управления должен размещаться на расстоянии не более 1,5 м от установки; на сварочных установках допустимо иметь дублирующее управление на камере.

Дозиметрический контроль защиты должен проводиться не реже 1 раза в год, а также после монтажа или внесения изменений в конструкцию действующих установок и выполняться ответственным лицом, выделенным администрацией предприятия [17].

Использование торированных вольфрамовых электродов при сварке в среде защитных газов потенциально может быть связано с выделением в воздух производственных помещений тория и продуктов его распада.

Порядок получения торированных вольфрамовых электродов и перевозка их всеми видами транспорта регламентируется действующими санитарными правилами ОСП-72 [17] и правилами безопасной перевозки радиоактивных веществ. Большинство видов работ с торированными вольфрамовыми электродами (из сплавов марок ВТ10, ВТ15 и др.) радиационной опасности не представляет. Условная радиационная опасность может возникать при транспортировке и хранении электродов общей массой более 5 кг, а также при заточке вольфрамовых электродов и при одновременной сварке более чем на пяти рабочих постах, расположенных в одном цехе. Однако условно опасная работа перестает быть радиационно опасной при соблюдении санитарных правил и требований техники безопасности. На предприятиях и в учреждениях, использующих торированные вольфрамовые электроды, запас электродов не должен превышать годовой потребности в них. Этот запас следует хранить на центральном складе предприятия.

Электроды, необходимые для месячной работы, и квартальные запасы, если их общая масса не превышает 5 кг, разрешается хранить в подсобных складах цехов или участков, не отделяя их от остальных хранящихся материалов, за исключением фоточувствительных. К хранению торированных вольфрамовых электродов непосредственно на рабочих местах (до 1 кг) особых требований не предъявляется. Операции по заточке торированных вольфрамовых электродов следует производить на специально выделенном заточном станке, установленном в любом близлежащем к сварочным постам помещении, отвечающем санитарным и гигиеническим требованиям. Заточной станок должен быть оборудован механической вытяжкой. Пыль должна собираться и помещаться в сборник твердых радиоактивных отходов. Лица, производящие заточку электродов, должны дополнительно обеспечиваться рукавицами. Сварку торированными вольфрамовыми электродами (одновременно более чем на пяти рабочих постах в одном и том же помещении), а также заточку электродов и уборку пыли от заточного станка следует производить в респираторе. Дозиметрический контроль при работе с торированными вольфрамовыми электродами должен выполняться промышленными лабораториями предприятий и радиологическими группами санитарно-эпидемиологических станций (СЭС) в виде текущего санитарного надзора.

ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ

Все электрооборудование сварочных и сборочно-сварочных цехов и участков должно соответствовать «Правилам устройства электроустановок» [27] и действующим ГОСТам [2, 3], а его эксплуатация — «Правилам технической эксплуатации

электроустановок потребителей и правилам техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей» [24]. Кроме того, следует выполнять указания по эксплуатации и безопасному обслуживанию электросварочных установок, имеющиеся в инструкциях заводов-изготовителей.

Присоединение и отсоединение от сети электросварочных установок, а также наблюдение за их исправным состоянием в процессе эксплуатации должны производиться электротехническим персоналом данного предприятия. К проведению электросварочных работ допускаются электросварщики с квалификационной группой по технике безопасности не ниже второй.

Напряжение холостого хода источников сварочного тока должно удовлетворять требованиям соответствующих ГОСТов. Максимальные напряжения холостого хода специализированных источников питания должны соответствовать техническим условиям, составленным с учетом требований техники безопасности и назначения оборудования.

Схема присоединения нескольких сварочных трансформаторов или генераторов при работе на одну сварочную дугу должна исключать возможность получения между изделием и электродом напряжения, превышающего напряжение холостого хода одного из источников сварочного тока.

Однопостовые и многопостовые сварочные установки должны быть защищены предохранителями со стороны питающей сети. Многопостовые сварочные агрегаты кроме защиты со стороны питающей сети должны иметь защиту в общем проводе сварочной цепи и предохранители на каждом проводе и сварочном посту. Сварочные посты подсоединяют к многопостовому агрегату при отключенном от сети агрегате.

Установка для ручной сварки должна быть оборудована отключающим аппаратом в цепи присоединения источника сварочного тока к распределительной цеховой сети, защитным аппаратом в первичной цепи и указателем величины сварочного тока (амперметром), если источник сварочного тока не имеет шкалы на регуляторе тока.

Установка для автоматической и полуавтоматической сварки должна быть снабжена устройством для присоединения источника тока к сети, защитным аппаратом, аппаратами для управления и регулирования, а также приборами для измерения основных электрических величин, характеризующих режим сварки.

Для питания сварочных автоматов и полуавтоматов рекомендуется применять источники питания с дистанционным регулированием режима работы. Аппараты управления регулирующими устройствами в этом случае должны быть смонтированы на источнике питания и пульте управления автомата или полуавтомата. Длина первичной цепи между пунктом питания и передвижной сварочной установкой не должна превышать 10 м.

Для возбуждения дуги без предварительного закорачивания электрода на изделие и для повышения стабильности ее горения допускается применение осциллляторов. Конструкция осциллятора должна полностью исключать возможность электрического соединения цепи низкой частоты с цепью повышенной частоты. Должна быть предусмотрена блокировка, исключающая возможность включения осциллятора при снятом защитном кожухе.

Для повышения устойчивости горения дуги переменного тока допускается применение импульсных генераторов, резко поднимающих напряжение между электродом и изделием в момент повторного возбуждения дуги. Импульсный генератор не должен увеличивать действующее напряжение холостого хода сварочного трансформатора более чем на 1 В.

Электрододержатели для ручной сварки должны быть возможно меньшей массы и иметь конструкцию, обеспечивающую надежное зажатие и быструю смену электродов. Рукоятка электрододержателя должна быть сделана из теплостойкого, плохо проводящего тепло изоляционного материала, а температура ее поверхности должна соответствовать требованиям технических условий. Конструкция сварочного электрододержателя должна также соответствовать ПУЭ [27] и ГОСТу. Применять самодельные электрододержатели запрещается.

Вторичное напряжение сварочных трансформаторов машин для контактной сварки при холостом ходе должно быть не более 36 В.

Для подвесных точечных и шовных машин со встроенными сварочными трансформаторами допускается напряжение для первичных обмоток сварочных трансформаторов не выше 70 В и для цепей управления не выше 36 В. Машина должна включаться в сеть через разделительный трансформатор и должна иметь блокировку, допускающую включение силовой цепи только при заземленном корпусе машины. Один из полюсов сварочной цепи должен быть соединен с корпусом машины. Подвод тока к подвесным машинам допускается выполнять проводниками с водяным охлаждением. Каждая машина для контактной сварки в первичной цепи должна иметь отдельный отключающий и защитный аппараты, смонтированные на отдельном или групповом щитке.

Для быстрой остановки всех механизмов сварочной машины аппараты управления должны быть установлены на легкодоступном для сварщика месте. Шкафы и корпуса машин, в которых размещаются электрические аппараты, должны быть снабжены дверцами с замками.

Машины для стыковой сварки сопротивлением мощностью более 5 кВА и машины для стыковой сварки оплавлением должны быть снабжены ограждающими устройствами, предохраняющими от искр и позволяющими безопасно вести наблюдение за процессом сварки.

Корпус любого источника питания сварочной установки (сварочный трансформатор, выпрямитель, преобразователь и др.) и корпус любой сварочной машины или установки необходимо надежно заземлять. Для присоединения заземляющего провода на электросварочном оборудовании должен быть предусмотрен болт диаметром 5—8 мм, расположенный в доступном месте с надписью «Земля» (или условным обозначением «Земля»). Последовательное включение в заземляющий проводник нескольких заземляемых аппаратов запрещается.

Помимо заземления основного электросварочного оборудования, согласно требованиям ПУЭ, в установках для дуговой сварки надлежит непосредственно заземлять тот зажим вторичной обмотки сварочного трансформатора, к которому присоединяется проводник, идущий к изделию (обратный провод). Один полюс сварочной цепи в машинах для контактной сварки должен быть электрически соединен с корпусом машины, а корпус заземлен.

В многоэлектродных машинах, в которых заземление сварочных цепей по тем или иным причинам недопустимо, должна быть предусмотрена защита, обеспечивающая заземление сварочной цепи при появлении на ней сетевого напряжения или автоматическое отключение всей машины. В подвесных машинах один проводник сварочной цепи должен быть соединен с корпусом подвесного трансформатора, а корпус надежно заземлен.

Электросварочное оборудование передвижного типа, защитное заземление которого представляет трудности, должно быть снабжено устройством защитного отключения.

Кабели (электропроводка) электросварочных машин должны располагаться от трубопроводов кислорода на расстоянии не менее 0,5 м, а от трубопроводов ацетилена и других горючих газов на расстоянии не менее 1 м. В отдельных случаях допускается сокращение указанных расстояний вдвое при условии заключения газопровода в защитную металлическую трубу с кольцевым зазором не менее 20 мм.

Изоляция проводов должна быть защищена от механических повреждений. Применение электросварочных проводов с поврежденной оплеткой и изоляцией запрещается. При повреждении оплетки провода его следует заключить в резиновый шланг.

Сварочные провода должны соединяться сваркой, пайкой или с помощью соединительных муфт с изолирующей оболочкой. Места сварных и паяных соединений проводов должны быть тщательно изолированы. В качестве обратного провода, соединяющего свариваемое изделие с источником сварочного тока, могут служить гибкие провода, а также, где это возможно, стальные шины любого про-

филя достаточного сечения, сварочные плиты, стеллажи и сама свариваемая конструкция. Использование в качестве обратного провода сети заземления, металлических строительных конструкций зданий, коммуникаций и несварочного технологического оборудования запрещается. Зажим вторичной обмотки сварочного трансформатора, к которому подключается обратный провод, а также аналогичные зажимы сварочных выпрямителей и генераторов, у которых обмотки возбуждения подключаются к распределительной электрической сети без разделительного трансформатора, следует заземлять.

В передвижных сварочных установках обратный провод должен быть изолирован так же, как и провод, подсоединенный к электрододержателю. Исключение составляют случаи, когда само изделие является обратным проводом. Соединение отдельных элементов, используемых в качестве обратного провода, должно выполняться тщательно (сваркой или с помощью болтов, струбцин или зажимов). В установках для автоматической дуговой сварки в случае необходимости (например, при выполнении круговых швов) допускается соединение обратного провода со свариваемым изделием с помощью скользящего контакта.

Все открытые части сварочной установки, находящиеся под напряжением питающей сети, и вращающиеся части оборудования должны быть надежно ограждены.

На органах управления сварочным оборудованием должны быть четкие надписи или условные знаки, указывающие их функциональное назначение. Все органы управления сварочным оборудованием должны иметь надежные фиксаторы или ограждения, исключающие самопроизвольное или случайное их включение (или отключение). Штепсельные соединения проводов для включения в электросеть переносных пультов управления электросварочных автоматов и полуавтоматов должны иметь заземляющие контакты.

Если при автоматической или полуавтоматической сварке корпус сварочной головки находится под напряжением дуги, то маховички, рукоятки и детали, к которым сварщик прикасается в процессе сварки, должны быть выполнены из изоляционного материала или надежно изолированы от корпуса головки.

Сварочные установки, а также все вспомогательные приборы и аппараты к ним, устанавливаемые на открытом воздухе, должны быть в брызго-пылезащищенном исполнении. Над сварочными установками незащищенного исполнения, находящимися на открытом воздухе, должны быть сооружены навесы из несгораемых материалов, исключающие попадание осадков на рабочее место сварщика или на сварочное оборудование.

Питание электродвигателей переменного тока сварочной головки допускается только через понижающий трансформатор со вторичным напряжением не выше 36 В. Один из выводов вторичной цепи такого трансформатора должен быть наглухо заземлен. Корпус электродвигателя сварочной головки при этом не заземляется, за исключением работы в особо опасных помещениях.

В автоматах специального исполнения с неподвижной сварочной головкой допускается питание электродвигателя головки непосредственно от сети при обязательном заземлении корпуса электродвигателя головки. При этом корпус электродвигателя должен быть изолирован от корпуса головки.

Напряжение электродвигателей постоянного тока должно быть не выше 48 В. Допускается применение электродвигателей постоянного тока напряжением до 110 В при условии надежного металлического контакта между электродвигателем и корпусом автомата. Корпус автомата должен иметь электрическую связь с заземлением через вторичную обмотку сварочного трансформатора или через размыкающий блок-контакт аппарата, включающего силовую цепь автомата.

Все электросварочные установки с источниками переменного и постоянного тока, предназначенные для сварки в особо опасных условиях (например, внутри металлических емкостей, в колодцах, туннелях, на понтонах, в котлах, отсеках судов, при наружных работах), должны быть снабжены устройствами автоматического отключения напряжения холостого хода или ограничения его до напряжения 12 В с выдержкой времени не более 0,5 с.

Все электросварочные установки, предназначенные для работы в помещениях с повышенной опасностью и имеющие напряжение холостого хода выше 36 В, также должны быть оснащены устройствами автоматического отключения напряжения холостого хода или его ограничения до безопасной в данных условиях величины. Узлы сварочного оборудования, содержащие конденсаторы, должны иметь устройства для автоматической разрядки конденсаторов.

Для стационарно установленных светильников местного освещения напряжения не должны превышать 36 В, а для переносных светильников — 12 В.

Закрытые пространства резервуаров, котлов, металлических емкостей, отсеков судов и т. п. при сварочных работах должны освещаться светильниками, установленными снаружи свариваемого объекта, или ручными переносными лампами соответствующего исполнения при напряжении не более 12 В. Трансформатор для переносных ламп должен устанавливаться вне свариваемого объекта; его вторичная обмотка должна быть заземлена. Применение автотрансформаторов для понижения напряжения питания светильников запрещается.

Сопротивление изоляции электросварочных установок должно соответствовать требованиям ПУЭ. Сопротивление изоляции установки измеряют при текущих ремонтах в соответствии с ГОСТом на эксплуатируемое электросварочное оборудование.

Сроки текущих и капитальных ремонтов сварочных установок определяет лицо, ответственное за электрохозяйство предприятия, исходя из местных условий и режима эксплуатации установки, а также указаний завода-изготовителя. После капитального ремонта электросварочной установки изоляция должна быть проверена на электрическую прочность. Осмотры и чистка электросварочных установок и пусковой аппаратуры производятся не реже 1 раза в месяц. Запрещается производить ремонт сварочных установок под напряжением.

Размещение электросварочного оборудования в цехе должно обеспечивать удобство и безопасность его эксплуатации и обслуживания. В помещениях должны быть предусмотрены достаточные по ширине (не менее 1 м) проходы, обеспечивающие удобство и безопасность при сварочных работах и доставке изделий к месту сварки и обратно. Проходы между стационарными однопостовыми сварочными агрегатами (трансформаторами, выпрямителями или преобразователями) должны быть шириной не менее 1 м. При установке агрегата у стены расстояние от стены до агрегата должно быть не менее 0,5 м. Многопостовые агрегаты и установки из нескольких сварочных агрегатов должны располагаться в отдельном помещении или в части общего производственного помещения, отделенной постоянными перегородками, решетками, сетками и т. п. высотой не менее 1,7 м. Проходы между стационарными многопостовыми сварочными агрегатами должны быть шириной не менее 1,5 м. Пункт питания электросварочной установки должен располагаться по возможности вблизи от нее. Разрешается размещать сварочные трансформаторы и регуляторы тока на подвижной тележке, несущей сварочную головку.

Регулятор сварочного тока можно устанавливать непосредственно рядом с трансформатором или над ним. Установка сварочного трансформатора над регулятором тока запрещается.

Проходы с каждой стороны стенда для выполнения ручных сварочных работ на крупных деталях и конструкциях должны быть шириной не менее 1 м. Столы для мелких сварочных работ могут примыкать с одной стороны непосредственно к стене кабины; проходы около стола с других его сторон должны быть шириной не менее 1 м. Проходы с каждой стороны установки для автоматической сварки под флюсом крупных изделий должны быть шириной не менее 1,5 м. Проходы между точечными и шовными машинами с расположением рабочих мест друг против друга должны быть шириной не менее 2 м, а между стыковыми машинами — не менее 3 м. При расположении перечисленных машин тыльными сторонами друг к другу ширина проходов должна быть не менее 1 м, а при расположении передними и тыльными сторонами друг к другу — не менее 1,5 м.

Элементы сварочного оборудования, расположенные на высоте более 2 м и требующие оперативного обслуживания, должны иметь освещенные рабочие

площадки с настилом из диэлектрического материала и лестницы с перилами, установленные на надежном креплении и изготовленные из несгораемых материалов.

Сварочные посты должны быть снабжены приспособлениями (штативами и т. п.) для укладки на них электрододержателей при кратковременных перерывах в работе.

Перед присоединением сварочной установки следует произвести внешний осмотр всей установки и убедиться в ее исправности. Особое внимание при этом надо обратить на состояние контактов и заземляющих проводников, исправность изоляции рабочих проводов, наличие и исправность защитных средств. При обнаружении каких-либо неисправностей сварочную установку включать запрещается.

По окончании работ при дуговой сварке источник питания отключают от электросети, провод с электрододержателем отсоединяют от источника питания и убирают в ящик из теплостойкого материала. При сварке на постоянном токе сначала отключают цепь постоянного тока, затем переменного.

Передвижные сварочные установки необходимо отсоединять от сети на время их передвижения.

В дополнение к перечисленным мерам электробезопасности для электросварщиков и лиц, обслуживающих электросварочное оборудование, обязательно применять средства индивидуальной защиты.

БЕЗОПАСНОСТЬ ГАЗОСВАРОЧНЫХ УСТАНОВОК И СИСТЕМ, НАХОДЯЩИХСЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Основными условиями безопасности систем, находящихся под давлением, являются достаточная их прочность и герметичность, которые в условиях эксплуатации гарантируются соблюдением режимов эксплуатации и надежностью работы контрольно-измерительной аппаратуры и предохранительных устройств.

При эксплуатации газосварочных установок безопасность обеспечивается также соблюдением правил, обусловленных физико-химическими свойствами применяемых газов, таких, например, как способность кислорода вызывать самовоспламенение некоторых материалов или склонность ацетилена к самопроизвольному взрывчатому распаду, образованию взрывоопасных ацетиленидов и т. д.

С целью предупреждения аварий введены обязательные для всех предприятий и организаций «Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением» [25]. Соблюдение этих правил контролирует Госгортехнадзор. Правила определяют требования к устройству, изготовлению, монтажу, ремонту и эксплуатации сосудов, работающих под давлением свыше 0,7 кгс/см² (без учета гидростатического давления), при условии, что вместимость сосуда или баллона превышает 25 л, а произведение вместимости в литрах на рабочее давление в атмосферах превышает 200.

Условия сооружения, испытаний и эксплуатации газопроводов регламентируются «Правилами безопасности в газовом хозяйстве» [21]. Эксплуатация газосварочного оборудования должна осуществляться в строгом соответствии с «Правилами техники безопасности и производственной санитарии при производстве ацетилена, кислорода и газопламенной обработке металлов» [23]. Каждый сосуд, предназначенный для работы под давлением, проходит на заводе-изготовителе обязательный комплекс испытаний на прочность и плотность и поставляется заказчику с паспортом установленной формы [25] и инструкцией по монтажу и безопасной эксплуатации. После монтажа, перед пуском в эксплуатацию указанные выше сосуды, а также ацетиленовые генераторы и ацетиленовые газосборники с давлением выше 0,7 кгс/см² и произведением давления в атмосферах на объем в литрах более 500 подлежат регистрации в местной инспекции Госгортехнадзора, которая проводит периодическое обследование объекта не реже 1 раза в год.

Требования к цеховым трубопроводам зависят от их назначения и рабочего давления. Классификация газопроводов по рабочему давлению приведена в табл. 6.

Цеховые газопроводы, как правило, прокладывают открыто по стенам или колоннам здания. Возможна также прокладка в непроходных каналах, засыпаемых песком и перекрываемых съемными несгораемыми плитами. Допускается совместная прокладка кислородопроводов и трубопроводов с горючими газами, в том числе ацетилена, в одном канале при условии устройства разделительной стенки и засыпки обоих отделений канала песком.

6. Классификация газопроводов по рабочему давлению, кгс/см²

Газопроводы давления	Транспортируемый газ		
	Кислород	Ацетилен	Прочие газы
Низкого	До 16	До 0,1	До 0,05
Среднего	Св. 16 до 64	Св. 0,1 до 1,5	Св. 0,05 до 3
Высокого	Св. 64	Св. 1,5	Св. 3 до 12

7. Давление при испытании, кгс/см²

Рабочее давление в газопроводе	Испытание	
	на прочность	на плотность
Среднее (св. 1 до 3)	4,5	3,0
Высокое: св. 3 до 6	7,5	1,25 рабочего давления, но не более 6
» 6 » 12	15,0	1,25 рабочего давления, но не более 12

Газопроводы изготовляют из стальных бесшовных труб. Исключение составляют кислородопроводы высокого давления, изготовляемые из медных или латунных труб. Трубы должны соединяться сваркой. Резьбовые и фланцевые соединения допускаются только в местах установки отключающих устройств, контрольно-измерительных приборов и другой арматуры. После монтажа новых газопроводов или после их капитального ремонта проводят испытания внутренним давлением на прочность и плотность. Газопроводы в помещениях промышленных предприятий испытывают в следующем порядке. Ацетиленопроводы низкого и среднего давления подвергают гидравлическому испытанию на прочность при давлении, определяемом по формуле $p_и = 13\,(p_р + 1) - 1$ (где $p_и$ и $p_р$ — соответственно давление при испытании и работе, кгс/см²), и пневматическому испытанию на плотность под давлением 3 кгс/см². Кислородопроводы подвергают гидравлическому испытанию на прочность под давлением 1,25 $p_р$, но не менее 2 кгс/см², и пневматическому испытанию на плотность при рабочем давлении. При испытании на прочность давление поддерживается в течение 5 мин, а затем снижается до рабочего на время осмотра газопровода и арматуры. При испытании на плотность испытываемый ацетиленопровод выдерживают под давлением не менее 24 ч, а кислородопровод не менее 12 ч, после чего определяют утечки, которые не должны превышать 1% для кислорода давлением до 1 кгс/см², 0,5% для кислорода давлением свыше 1 кгс/см², а для ацетилена 0,5% в час от объема газа, находившегося в трубопроводе в начале испытаний.

Утечка за 1 ч (%)

$$V = \frac{100}{A}\left[1 - \frac{p_н\,(273 + t_н)}{p_к\,(273 + t_к)}\right],$$

где A — время испытания, ч; $p_н$ и $p_к$ — абсолютное давление в трубопроводе соответственно в начале и в конце испытания, кгс/см²; $t_н$ и $t_к$ — температура газа в трубопроводе соответственно в начале и в конце испытания, ° С.

Газопроводы низкого давления испытывают на прочность под давлением 1 кгс/см² и на плотность под давлением 1000 мм вод. ст. Продолжительность испытаний на плотность должна быть не менее 1 ч, причем падение давления не должно превышать 60 мм вод. ст. в 1 ч.

Газопроводы среднего давления до 1 кгс/см² испытывают на прочность под давлением 2 кгс/см² и на плотность под давлением 1 кгс/см². Падение давления за 1 ч при испытании на плотность не должно превышать 1,5%.

При испытании газопроводов среднего давления (свыше 1 кгс/см²) и высокого давления принимают давления согласно табл. 7.

Длительность испытания на плотность газопроводов среднего (свыше 1 кгс/см²) и высокого давления должна быть не менее 12 ч.

Газопровод считается выдержавшим испытание на плотность, если утечка за 1 ч, вычисленная по приведенной выше формуле, не превышает величины, равной $50/D$, где D — внутренний диаметр газопровода, мм.

Все цеховые трубопроводы должны иметь опознавательную (определенного цвета) окраску. Кислородопроводы окрашивают в голубой цвет, ацетиленопроводы — в белый.

Дополнительными мерами безопасности служат сигнальные цветные кольца, нанесенные на трубопроводы, предупреждающие знаки, маркировочные щитки и надписи на трубопроводах.

8. Маркировка баллонов [25]

Газ	Окраска баллонов	Цвет полосы	Текст надписи	Цвет надписи
Азот	Черная	Коричневый	Азот	Желтый
Аммиак	Желтая	—	Аммиак	Черный
Аргон:			Аргон:	
сырой	Черная	Белый	сырой	Белый
технический	»	Синий	технический	Синий
чистый	Серая	Зеленый	чистый	Зеленый
Ацетилен	Белая	—	Ацетилен	Красный
Бутилен	Красная	Черный	Бутилен	»
Бутан	»	—	Бутан	Белый
Водород	Темно-зеленая	—	Водород	Красный
Воздух	Черная	—	Сжатый воздух	Белый
Гелий	Коричневая	—	Гелий	»
Закись азота	Серая	—	Закись азота	Черный
Кислород	Голубая	—	Кислород	»
Кислород медицинский	»	—	Кислород медицинский	»
Нефтегаз	Серая	—	Нефтегаз	Красный
Сероводород	Белая	Красный	Сероводород	»
Сернистый ангидрид	Черная	Желтый	Сернистый ангидрид	Белый
Углекислота	»	—	Углекислота	Желтый
Фосген	Защитная	Красный	—	—
Фреон:			Фреон:	
11	Алюминиевая	Синий	11	Черный
12	»	—	12	»
13	»	Две красные	13	»
22	»	Две желтые	22	»
Хлор	Защитная	Зеленый	—	—
Циклопропан	Оранжевая	—	Циклопропан	Черный
Этилен	Фиолетовая	—	Этилен	Красный
Все другие горючие газы	Красная	—	Наименование газа	Белый
Все другие негорючие газы	Черная	—	Наименование газа	Желтый

Сжатые газы, используемые в сварочном производстве, содержат в стальных цельнотянутых баллонах вместимостью 40 л. Порядок хранения, перевозки и эксплуатации баллонов со сжатыми газами регламентируется действующими правилами [23, 25]. Каждый баллон должен иметь опознавательную окраску и надпись согласно табл. 8, а на его верхней сферической части должны быть нанесены клеймением следующие данные: товарный знак завода-изготовителя; номер баллона; масса порожнего баллона, кг; месяц и год изготовления и год следующего освидетельствования; рабочее давление, кгс/см²; пробное гидравлическое давление, кгс/см²; вместимость баллона, л; клеймо ОТК завода-изготовителя.

Баллоны для растворенного ацетилена заполняются соответствующим количеством пористой массы и растворителя. На таком баллоне указывают массу тары т. е. массу баллона без колпака, но с пористой массой и растворителем, башмаком, кольцом и вентилем.

Окраску и нанесение надписей на вновь изготовленные баллоны производят заводы-изготовители, а в дальнейшем заводы-наполнители, наполнительные или испытательные станции.

Баллоны находящиеся в эксплуатации, должны подвергаться периодическому освидетельствованию на заводах-наполнителях или на наполнительных станциях (испытательных пунктах) не реже чем через 5 лет.

Запрещается эксплуатировать баллоны, у которых истек срок периодического освидетельствования; отсутствуют установленные клейма; неисправны вентили; поврежден корпус (трещины, сильная коррозия, заметное изменение формы); окраска и надписи не соответствуют действующим правилам. Ремонт баллонов и вентилей должен производиться на заводах-наполнителях.

Склады для баллонов с взрыво- и пожароопасными газами должны находиться в зоне молниезащиты. Складское помещение должно быть разделено несгораемыми стенами на отсеки, в каждом из которых может храниться не более 500 баллонов с горючими газами или до 1000 баллонов с негорючими газами. Хранение баллонов с кислородом и горючими газами в одном помещении не допускается.

Склады для хранения баллонов должны быть одноэтажными с покрытиями легкого типа и не иметь чердачных помещений. Стены, перегородки, покрытия должны быть из несгораемых материалов не ниже II степени огнестойкости; окна и двери должны открываться наружу. Оконные и дверные стекла должны быть матовые или закрашены белой краской. Высота помещений должна быть не менее 3,25 м от пола до нижних выступающих частей кровельного покрытия.

Полы складов должны быть ровные с нескользкой поверхностью, а полы складов для баллонов с горючими газами — с поверхностью из материалов, исключающих искрообразование при ударе о них какими-либо предметами.

Склады для баллонов должны иметь освещение и вентиляцию в соответствии с действующими нормами. В складах должны быть вывешены инструкции, правила и плакаты по обращению с баллонами, находящимися на складе.

Наполненные баллоны с насаженными на них башмаками должны храниться в вертикальном положении. Для предохранения от падения баллоны должны устанавливаться в специально оборудованные гнезда, клетки или ограждаться барьером. Баллоны, которые не имеют башмаков, могут храниться в горизонтальном положении на деревянных рамах или стеллажах. При хранении на открытых площадках разрешается укладывать баллоны с башмаками в штабеля с прокладками из веревки, деревянных брусьев или резины между горизонтальными рядами. Высота штабеля не должна превышать 1,5 м. Вентили баллонов должны быть обращены в одну сторону. Хранить баллоны следует с навернутыми колпаками.

На сварочном участке при наличии не более 10 сварочных постов допускается для каждого поста иметь по одному запасному баллону с кислородом и ацетиленом. Запасные баллоны должны быть либо ограждены стальными щитами, либо храниться в специальных пристройках. При наличии на участке более 10 сварочных постов должно быть устроено централизованное снабжение газом.

Баллоны с газом, устанавливаемые в помещениях, должны находиться от радиаторов отопления и других отопительных приборов и печей на расстоянии не менее 1 м, а от источников тепла с открытым огнем — на расстоянии не менее 5 м.

Наполненные баллоны следует хранить отдельно от порожних.

Баллоны для сжатых газов, принимаемые заводами-наполнителями от потребителей, должны иметь остаточное давление не менее 0,5 кгс/см², а баллоны для растворенного ацетилена — не менее 0,5 и не более 1 кгс/см².

Перевозка наполненных газом баллонов должна производиться на рессорном транспорте или на автокарах в горизонтальном положении обязательно с прокладк-

ками между баллонами в виде деревянных брусков с вырезанными гнездами, а также веревочных или резиновых колец толщиной не менее 25 мм (по два кольца на баллон) или другими прокладками. Все баллоны во время перевозки должны укладываться вентилями в одну сторону. В летнее время баллоны следует защищать от солнечных лучей.

Разрешается перевозка баллонов в специальных контейнерах, а также без контейнеров в вертикальном положении обязательно с прокладками между ними и ограждением от возможного падения.

При транспортировке в специальных контейнерах допускается одновременно перевозить в одном кузове контейнеры с порожними и наполненными баллонами. Укладка порожних и наполненных баллонов в один контейнер запрещается. Совместная перевозка кислородных и ацетиленовых баллонов на всех видах транспорта, как правило, запрещается, за исключением транспортировки двух баллонов на специальной тележке к рабочему месту. Перемещение баллонов в пунктах наполнения и потребления газов из одного помещения в другое, даже если эти помещения смежные, должно производиться на специальных тележках, на специальных носилках или в специальных контейнерах с помощью грузоподъемных механизмов. Переноска баллонов на руках без носилок и на плечах запрещается. Разрешается перемещать баллоны на небольшие расстояния (в пределах рабочего места) путем кантовки в слегка наклонном положении. Рабочие, обслуживающие баллоны, должны быть обучены и проинструктированы.

ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ

Для защиты тела рабочего от тепловых, механических и других воздействий применяются специальная одежда (брюки, куртки, комбинезоны, рукавицы) и специальная обувь, которые должны соответствовать характеру выполняемой работы и метеорологическим условиям на рабочем месте. Материал и маркировка спецодежды и спецобуви определяются действующими стандартами.

В последние годы для работ, выполняемых зимой на открытом воздухе, успешно применяются легкие костюмы с электрообогревом.

Спецодежда и спецобувь должны выдаваться согласно нормам по отдельным отраслям промышленности в соответствии с «Типовыми отраслевыми нормами бесплатной выдачи спецодежды, спецобуви и предохранительных приспособлений рабочим и служащим», утвержденными Государственным комитетом Совета Министров СССР по вопросам труда и заработной платы и Президиумом ВЦСПС (постановление от 30.12.59 г. № 1097/II-27).

Для защиты от соприкосновения с влажной, холодной землей и снегом, а также с холодным металлом при наружных работах сварщики должны обеспечиваться подстилками, наколенниками и подлокотниками из огнестойких материалов с эластичной прослойкой.

При потолочной сварке для защиты предплечий сварщиков следует обеспечивать нарукавниками, а для защиты верхней части туловища — пелеринами.

При плазменной обработке изделий предплечья операторов нужно защищать нарукавниками, а открытые участки кожи, шеи и груди — нагрудниками из огнестойкого мягкого материала.

При сварке и заварке изделий с предварительным подогревом следует обеспечивать сварщиков теплозащитной одеждой и обувью.

При одновременной работе сварщиков или резчиков на различных высотах по одной вертикали голова сварщика, находящегося внизу, должна быть защищена краской.

Защита органов дыхания осуществляется путем применения респираторов и противогазов; иногда применяют сварочные маски с подачей в них чистого воздуха. При выполнении тяжелой работы и при больших концентрациях пыли используют противопылевой респиратор Ф-62Ш. При меньших концентрациях пыли используют респираторы У-2К или ШБ-1 «Лепесток». Универсальный респиратор

РУ-60 используют для защиты одновременно от пыли и газов, но также при сравнительно небольших их концентрациях. Для защиты от вредных паров и газов при малых их концентрациях применяют фильтрующие противогазы, но в условиях сильной загазованности, например при сварке внутри изделий, следует применять изолирующие противогазы ПШ-1 и ПШ-2.

Для защиты лица и глаз от действия лучистой энергии электрической дуги, а также от искр и брызг расплавленного металла сварщики и операторы плазменных установок должны обеспечиваться щитками или масками, а газорезчики, газосварщики и вспомогательные рабочие — очками.

При дуговой электросварке и плазменной обработке применяют изготавливаемые по ГОСТ 1361—69 щиток электросварщика универсальный ЩЭУ-1, щиток электросварщика ЩС-2 и маску сварочную МС-2. Щиток ЩЭУ-1 можно использовать как ручной или как наголовную маску.

Каждый щиток (или маска) снабжен защитными светофильтром (ГОСТ 9411—75), оптическую плотность которого подбирают в зависимости от мощности сварочной дуги и особенностей глаз сварщика. Наиболее часто используются светофильтры марок ТС3 и ТС10. Для предохранения от загрязнения и брызг металла светофильтр закрывают снаружи обычным бесцветным сменным стеклом.

В кабинах, на рабочих местах сварки необходимо вывешивать плакаты, предупреждающие об опасности облучения глаз и кожи работающих.

При электросварке под водой передний иллюминатор шлема водолаза электросварщика для защиты от излучения дуги следует на $^2/_3$ снизу закрывать соответствующим светофильтром.

Подручные электросварщиков снабжаются масками или закрытыми очками, например, С-14, «Уралец», «Восход-1», «Восход-2» и др. [1] со светофильтрами.

Газосварщики и газорезчики также должны быть обеспечены защитными очками закрытого типа, но со светофильтрами типа СС (синее стекло) по ГОСТ 9411—75. Светофильтр следует подбирать в зависимости от яркости газового пламени. Газорезчика и его подручного необходимо дополнительно снабжать защитными очками с бесцветными стеклами для обслуживания газогенератора.

В качестве средств индивидуальной защиты от шума (противошумов) применяют вкладыши, наушники и шлемы. Вкладыши — сплошные или с каналом внутри заглушки, вставляются в наружный слуховой проход. Заглушки ослабляют шум на 5—7 дБ при частотах до 500 Гц и на 15 дБ при частотах более 3000 Гц. Существенным недостатком любых вкладышей является возможность раздражения в слуховом проходе.

Более эффективны противошумные наушники, которые, существенно снижая уровень производственного шума, позволяют различать речь нормальной громкости. Наушники ВЦНИИОТ-2 снижают уровень шума на 7 дБ при частоте 125 Гц и на 47 дБ при частоте 4000 Гц. Противошумные шлемы применяют при уровнях шума 120 дБ и более.

При плазменной обработке и металлизации изделий защита органов слуха операторов от действия широкополосного шума индивидуальными противошумами — наушниками или вкладышами обязательна.

Для индивидуальной защиты людей, обслуживающих электроустановки, от поражения электрическим током используются изолирующие штанги и клещи, изолированный инструмент, диэлектрические перчатки и рукавицы, диэлектрические боты и калоши, диэлектрические коврики, маты и подставки. Все перечисленные выше средства индивидуальной защиты периодически испытываются на пробой и маркируются в соответствии с действующими правилами [24].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гаевая Л. А.** Средства индивидуальной защиты глаз и лица на производстве. М., Машиностроение, 1975. 160 с.

2. **ГОСТ** 12.2.007.0—75. Система стандартов безопасности труда. Оборудование электротехническое. Общие требования безопасности (срок действия с 1.01.78 до 1.01.83).

3. **ГОСТ** 12.2.007.8—75. Система стандартов безопасности труда. Оборудование электросварочное и для плазменной обработки. Требования безопасности (срок действия с 1.01.78 до 1.01.83).
4. **ГОСТ** 12.3.003—75. Система стандартов безопасности труда. Работы электросварочные. Общие требования безопасности (срок действия с 1.01.77 до 1.01.82).
5. **Долин П. А.** Основы техники безопасности в электрических установках. М., Энергия, 1970. 336 с.
6. **Епанешников М. М.** Электрическое освещение. М., Энергия, 1973. 352 с.
7. **Измерение** шума машин и оборудования. /Г. Л. Осипов, Д. З. Лепашов, Е. Н. Федосеева и др. М., Изд-во стандартов, 1968. 148 с.
8. **Кнорринг Г. М.** Справочник для проектирования электрического освещения. Л., Энергия, 1968. 392 с.
9. **Королькова В. И.** Электробезопасность на промышленных предприятиях. М., Машиностроение, 1971. 520 с.
10. **Маргулис У. Я.** Радиация и защита. М., Атомиздат, 1974. 160 с.
11. **Местная** вытяжная вентиляция при электросварке и газовой резке. Альбом чертежей. Л., ВЦНИИОТ, 1971.
12. **Местные** отсосы и укрытия к технологическому оборудованию сварочных цехов. ОВ-02-151. Вып. 1. Общие виды и характеристики отсосов. Вып. 2. Рабочие чертежи. М., ЦИТП, 1965. 24 и 172 с.
13. **Местные** отсосы от оборудования сварочных цехов. Рабочие чертежи. Местные отсосы при автоматической и полуавтоматической электросварке. Л., Проектный институт № 1 Министерства строительства РСФСР, 1957. 250 с.
14. **Местные** отсосы при ручной электросварке. Рабочие чертежи. Серия 4.904-37. М., ЦИТП, 1967. 134 с.
15. **Нормы** радиационной безопасности (НРБ-69). М., Атомиздат, 1972. 89 с.
16. **Нормы** технологического проектирования цехов металлоконструкций, котельно-сварочных и заготовительно-сварочных цехов машиностроительных заводов. Ростов-на-Дону, Гипростройдормаш, 1968. 47 с.
17. **Основные** санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений ОСП—72. М., Атомиздат, 1973. 56 с.
18. **Охрана** труда в машиностроении. Под ред. Е. Я. Юдина. М., Машиностроение, 1976. 335 с.
19. **Охрана** труда в химической промышленности. /Н. В. Соловьев, Н. А. Стрельчук, П. И. Ермилов. М., Химия, 1969. 528 с.
20. **Погодин А. С.** Шумоглушащие устройства. М., Машиностроение, 1973. 176 с.
21. **Правила** безопасности в газовом хозяйстве (утверждены Госгортехнадзором СССР 28.10.69).
22. **Правила** пожарной безопасности при проведении сварочных и других огневых работ на объектах народного хозяйства (утверждены ГУПО МВД СССР 29.12.72).
23. **Правила** техники безопасности и производственной санитарии при производстве ацетилена, кислорода и газопламенной обработке металлов (утверждены Президиумом ЦК профсоюза рабочих машиностроения 2.04.63 с изменениями и дополнениями от 20.04.66 и 11.05.66)
24. **Правила** технической эксплуатации электроустановок потребителей и правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. Утверждены Госэнергонадзором 12.04.69. М. Атомиздат, 1971. 352 с.
25. **Правила** устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением (утверждены Госгортехнадзором СССР 19.05.70 с изменениями и дополнениями от 25.12.73.). М., Металлургия, 1974. 96 с.
26. **Правила** устройства и безопасной эксплуатации стационарных компрессорных установок, воздухопроводов и газопроводов (утверждены Госгортехнадзором СССР 7.12.71).
27. **Правила** устройства электроустановок (ПУЭ). М.—Л., Энергия, 1966. 464 с.
28. **Рекомендации** по проектированию отопления и вентиляции заготовительных и сборочно-сварочных цехов АЗ-499. М., ГПИ «Сантехпроект» Госстроя СССР, 1972.
29. **Санитарные** нормы и правила при работе с инструментами, механизмами и оборудованием, создающим вибрации, передаваемые на руки работающих, и по ограничению общей вибрации рабочих мест № 626—66. М. Стройиздат, 1966.
30. **Санитарные** нормы проектирования промышленных предприятий СН 245—71. М., Стройиздат, 1972. 97 с.
31. **Санитарные** правила при сварке, наплавке и резке металлов № 1009—73. М., Атомиздат, 1973.
32. **СНиП** II-А. 5—70. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений. М., Стройиздат, 1971.
33. **СНиП** II-А. 8—72. Естественное освещение. Нормы проектирования. М., Стройиздат, 1973. 23 с.
34. **СНиП** II-А. 9—71. Искусственное освещение. Нормы проектирования. М., Стройиздат, 1972. 25 с.
35. **СНиП** III-А. 11—70. Техника безопасности в строительстве. М., Стройиздат, 1972. 192 с.
36. **СНиП** II-33-75. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. М., Стройиздат, 1976. 112 с.
37. **Указания** по проектированию цветовой отделки интерьеров производственных зданий промышленных предприятий СН 181—70. М., Стройиздат, 1972. 80 с.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Аппараты дробеметные — Техническая характеристика 266
— — дробеструйные — Техническая характеристика 266

Б

Балки — Технология изготовления 214—219
Балки сварные — Нормы жесткости 171, 172 — Предельные прогибы 171 — Расчет 172—184
Баллоны — Маркировка 556

В

Вращатели — Техническая характеристика 301
Выпуск деталей годовой в сварочном производстве 514

Г

Газопроводы — Изготовление 555
— Испытание 555
— Классификация по рабочему давлению 555
ГОСТ 2.312—72 12
12.2.007.0—75 559
12.2.007.8—75 560
12.3.003—75 560
380—71 22
534—78 325
1050—74 28, 29
1131—76 38
1497—73 47
2685—75 37
2999—75 47
4543—71 29
4784—74 37
5264—69 170
5582—75 33
5632—72 33, 35, 37
5781—75 26, 28
5946—66 325
5949—75 34—36
6032—75 156
6711—70 325
6996—66 43—47
7352—75 325
7882—69 325
7890—73 325
8324—71 325
8713—70 170
9012—59 47
9013—59 47
9411—75 559
9467—75 59, 60
9651—73 47
10721—75 325
11150—75 47, 113
13188—67 325
13819—68 153
14249—73 159
14771—76 170
15516—76 325
15517—70 325
15942—70 325
16215—70 325
16553—76 325
17827—72—17913—72 292
17934—72—18047—72 292
18991—73 325
19281—73 28
19282—73 28
19811—74 325
20072—74 32
20708—75 325
20805—75 325
22045—76 325

Д

Детали машин сварные — Расчет 203—209 — Технология изготовления 245—253

Деформации металла при сварке — Виды 348, 349 — Методы определения 351—354 — Измерение 395 — Формулы 393
Длительность производственного цикла изготовления сварных конструкций — Понятие 434 — Формулы 436—438
Дозы облучения людей предельно допустимые 548

Е

Емкости негабаритные — Технология изготовления 223—228

Ж

Жаропрочность материалов — Комплексная характеристика 123

З

Зигмашины — Техническая характеристика 278

И

Испытания сварных соединений на статический изгиб 46
— — на статическое растяжение 43—46
— — на стойкость против механического старения 44, 45
— — на ударный изгиб 44, 45
— — на ударный разрыв 46, 47

К

Кантователи двустоечные 302
— — домкратные 302, 304
— — кольцевые 302, 304
— — одностоечные 302
— — рычажные 302—304
— — цепные 302
Категории ремонтной сложности оборудования сварочных цехов 525, 526
Количество воздуха, необходимое для растворения вредных веществ при различных видах сварки 543, 544
— — сварочных аэрозолей до ПДК 540—543
Колонны унифицированные — Техническая характеристика 309, 310
Конструирование — Общие принципы 169, 170
Конструкции корпусные листовые — Технология изготовления 238—244
Конструкции листовые 198—203
— — решетчатые — Технология изготовления 221—223
— — сварные — Несущая способность 162
Кондукторы сборочные 292, 294, 297
Концентрации предельно-допустимые некоторых вредных веществ 535
Коррозия местная 144, 146—148
— — общая 144
— Растрескивание 144, 149
— — химическая сварных соединений 144
— — электрохимическая сварных соединений 144—146

Л

Линии дробеметной очистки горячекатаного проката — Техническая характеристика 332
— — поточные сварочного производства — Виды 439, 440 — Классификация 336
— — резки профильного проката — Техническая характеристика 333
— — сборки и сварки узлов автомобиля «Жигули» — Техническая характеристика 343
Линия арматурных сеток — Назначение 339, 340 — Техническая характеристика 340
— — большегрузных шахтных вагонеток — Назначение 340, 341 — Техническая характеристика 341
— — для резки труб — Назначение 333 — Техническая характеристика 333
— — кабин грузовых автомобилей — Назначение 341 — Техническая характеристика 341
— — колес грузовых автомомилей — Назначение 342 — Техническая характеристика 342
— — колес легковых автомобилей — Назначение 341 — Техническая характеристика 341
— — коробчатых пролетных балок электромостовых кранов — Назначение 339 — Техническая характеристика 339
— — плоскосворачиваемых труб — Назначение 339 — Техническая характеристика 339
— — полотнищ сварных крупногабаритных резервуаров — Назначение 337 — Техническая характеристика 337

— — профилирования — Назначение 333 — Техническая характеристика 331
— — прямошовных труб, изготовляемых из двух листов — Назначение 338 — Техническая характеристика 338
— — прямошовных труб, изготовляемых из одного листа — Назначение 337 — Техническая характеристика 338
— — раскроя рулонного проката — Назначение 331 — Техническая характеристика 331
— — сварки боковых стен вагонов — Назначение 337 — Техническая характеристика 337
— — сварных крупнопрофильных двутавровых балок — Назначение 339 — Техническая характеристика 339
— — спиральношовных труб — Назначение 338 — Техническая характеристика 339
— — стальных радиаторов — Назначение 340 — Техническая характеристика 340

М

Манипуляторы — Техническая характеристика 298, 299
Материалы, применяемые для сварки среднелегированных сталей 57, 58
Машина фрезерная для обработки кромок — Техническая характеристика 318
Машины зачистные — Техническая характеристика 321
Машины листогибочные с поворотной гибочной балкой — Техническая характеристика 277
— — трех- и четырехвалковые — Техническая характеристика 275
Машины листоправильные многовалковые — Техническая характеристика 257
Машины многороликовые сортоправильные — Техническая характеристика 259
— — типа VER (ГДР) — Техническая характеристика 260
Машины сортогибочные трехроликовые — Техническая характеристика 279
— — трубогибочные — Техническая харакеристика 280
Машины шлифовальные механизированно-ручные пневматические — Техническая характеристика 320
— — электрические — Техническая характеристика 320
Мероприятия защиты от ультразвука 546, 547
Металлы при высоких температурах — Теплофизические и механические свойства 349—351
Метод измерения объема производства сварных конструкций — натуральный 471 — Стоимостной — 472 — Трудовой 471
Методы испытания сварных соединений на склонность к коррозионному разрушению 150—153
— — оценки сопротивляемости сталей образованию холодных трещин 420
— — повышения стойкости против коррозионных разрушений 157—159
Методы уменьшения сварочных деформаций 385—388
— Импульсивная обработка соединений 386
— Обкатка поверхностей роликами 386
— Отпуск сварных конструкций 387, 388
— Поверхностный наклеп 386
— Предварительный и сопутствующий подогревы 385
— Приложение нагрузок к элементам сварных конструкций 386
— Прокатка зоны сварных соединений 386
— Проковка 385, 386
— Прочие методы 387
— Создание неравномерных нагревов или охлаждений 386, 387
Методы уменьшения перемещений в элементах конструкций от сварки 388—392
— На стадии разработки проекта конструкции 388, 389
— На стадии разработки технологии и при сварке 389
— Правка элементов конструкции после сварки 390—392
Методы установления технически обоснованных норм времени 457
Механизация сварочного производства — Понятие 329 — Уровень 329
Молоток пневматический для зачистки сварных швов — Техническая характеристика 321
Мощность поточных линий производственная 446—451

— — сварочного цеха производственная — Достигнутая 453 — Плановая 453 — Понятие — 453 — Проектная 453

Н

Напряжения при сварке — Классификация 348, 349 — Методы определения 354—359
Ножницы высечные — Техническая характеристика 270
— — дисковые — Техническая характеристика 271
— — для резки уголка — Техническая характеристика 272
— — для резки швеллеров — Техническая характеристика 272
— — комбинированные — Техническая характеристика 272
— — листовые с наклонным ножом — Техническая характеристика 269
— — многодисковые — Техническая характеристика 271
— — ручные пневматические — Техническая характеристика 273
— — сортовые — Техническая характеристика 272
Номенклатура профессий в сварочном производстве и распределение их по группам санитарных характеристик 527, 528
Нормы времени технические — Понятие 456 — Поправочные коэффициенты 457 — Составные части 456
Нормы для расчета числа инженерно-технических работников 508, 529
— — младшего обслуживающего персонала 508, 529
— — наладчиков оборудования 505—507, 529
— — работников технического контроля 529, 530
— — служащих 508
Нормы сводные для укрупненного расчета числа вспомогательных рабочих и обслуживающего персонала 530
Нормы обслуживания сварочного оборудования одним рабочим в смену 526
— — наладчиком 517, 518
Нормы определения состава работающих в сварочном производстве 528
Нормы плотности работ в заготовительном производстве 503
— — в сварочном производстве 525
Нормы расчета высоты цеха 524
— — запаса хранения материалов и полуфабрикатов 521
— — цеховых кладовых 522
— — цеховых складов 522
Нормы технически обоснованные — Порядок разработки и использования 469—471

О

Оболочки — Раскрой 225, 226
Оборудования для гибки 273—282
— — комплексной механизации и автоматизации сварочного производства — Классификация 335 — Характеристика 335
— — очистки и подготовки поверхности 261—267
— — правки 255—261
— — производства сварных конструкций — Классификация 256
— — разметочно-маркировочных операций — Техническая характеристика 267
— — резки 267—273
— — сбора флюса и подачи его в зону сварки 317
— — уплотнения стыков 313—317
— — установки и перемещения свариваемых изделий 297—307
Оборудование универсальное подъемно-транспортное — Техническая характеристика 325
Операции заготовительные 210—212
— Гибка 211, 212
— Обработка кромок 210, 211
— Очистка 210
— Правка 210
— Разметка 210
— Резка 210
Оптимизация производственной мощности поточных линий 451—453
Освещение производственных помещений 545
Оснастка сборочно-сварочная — Эффективность использования 214

П

Параметры, характерные для автоматических линий 445, 446
— — всех разновидностей поточных линий 440, 441
— — многономенклатурных линий 443—445
— — поточных линий с рабочим конвейером 441, 442

— — поточных линий с распределительным конвейером 442
— — прямоточных линий 443
— — стационарных линий 442, 443
Параметры шума нормируемые 545
Перемещения в зоне сварных соединений — Поперечные 365—368 — Угловые 368, 369 — Усадочная сила 360—365
Перемещения при сварке 349
— Экспериментальные методы определения 381
Площадки для сварщика — Техническая характеристика 311
Площадь на единицу оборудования общая 524
— — средняя 525
Подушка флюсовая на тележке подвижная электромагнитная — Техническая характеристика 313
Показатели производительности труда натуральные 472
— — стоимостные 473
— — трудовые 472, 473
— — при изготовлении сварных узлов 479
— — при производстве заготовок 478
Показатели технико-экономические по некоторым заводам 531
Покрытия электродов, содержащих окислы РЗМ — Свойства 55
Потенциалы электродные различных зон сварных соединений 147
Премирование работников сварочных цехов за освоение проектных мощностей 455, 456
Пресс-ножницы комбинированные — Техническая характеристика 272
Пресс гидравлический правильно-гибочный — Техническая характеристика 258
— — конструкции Уралмашзавода — Техническая характеристика 258
— — мод. CDN — 400 (ЧССР) — Техническая характеристика 261
Прессы листогибочные — Техническая характеристика 281
— — правильно-гибочные гидравлические горизонтальные типа PYXWM (ГДР) — Техническая характеристика 264
Прижимы электромагнитные — Техническая характеристика 291
Приспособления переносные сборочные 287—291
— — сборочно-сварочные — Схема процесса проектирования 213
— — универсально-сборные 291, 292— Техническая характеристика 293
Пробы сварочные технологические 421—424
— ВМЭИ 423
— Крестовая 422, 423
— Круглый вварыш 424
— Лихайская 422
— С круговой наплавкой 423
— ТЭККЕН 423
— ЦНИИТМАШ 423
— ЦНИИТС 423, 424
Производительность заготовительного оборудования средняя годовая 511
— — ножниц средняя при резке заготовок в холодном состоянии 511
Производство заготовительное — Производительность труда 505
— Типы производств 502
— Уровень механизации производственных процессов 504
— Уровень механизации труда 504
Прокат — Расчетные сопротивления 163
Пролеты унифицированные — Размеры 519
Прочность технологическая — Критерии 401, 402
— Оценка машинными методами 404—411
— Оценка с помощью технологических проб 402—404
— Показатели 393
— Понятие 393
— Способы ее повышения 411—413
Пылесосы пневматические — Техническая характеристика 321

Р

Разряды работ средние в сварочных цехах 477
Рамы — Технология изготовления 220, 221
Расчет запаса хранимых материалов 520
— — минимальных объемов производства заготовок металлоконструкций на поточных линиях 509, 510
— — площадей складов 520
Расчеты экономические на стадиях проектирования и производства сварных конструкций 481—485
— — разработки вариантов технологических процессов изготовления сварных конструкций 485—494
Расчеты экономические при оценке уровня использования основных фон-

дов сварочных цехов и рентабельности сварочного производства 495—498
— — проектировании, изготовлении и эксплуатации машин и оборудования для производства сварных конструкций 495
Резка газовая — Нормирование 466
Рекомендации по проектированию местных отсосов для сварочных постов 537—539
Робот сварочный — Техническая характеристика 347

С

Сварка ацетилено-кислородная — Нормы подготовительно-заключительного времени 465
— — дуговая — Нормирование расхода электродов, проволоки, флюсов и электроэнергии 466—469
— — контактная — Вспомогательное время 463, 464 — Основное время 463
— — под флюсом полуавтоматическая и автоматическая — Время на отдых и личные надобности 461 — Время обслуживания рабочего места 461 — Вспомогательное время 460, 461 — Основное время 460
— — ручная электродуговая — Вспомогательное время 458, 459 — Основное время 458
— — электрошлаковая — Вспомогательное время 462, 463 — Основное время 462, 463
Соединения сварные, выполняемые сваркой газовой 9
— — дуговой 9
— — контактной 9
— — электронно-лучевой 9
— — электрошлаковой 9
Соединения сварные — Измерение твердости металла различных участков и наплавленного металла 44, 45
— Классы прочности стали 48
— Коррозионное разрушение в напряженном состоянии 148—150
— Механические свойства при различных методах сварки 74—79
— Оценка свойств при низких температурах 113—121
— Пример обозначения на чертежах 12, 13
— Прочность при высоких температурах 126—135
— Пути повышения жаропрочности 140—142
— Расчет на статическую **прочность** 164, 165
— Свойства металла швов **низкоуглеродистых и низколегированных сталей** 48—50
— Сопротивление **зарождению трещин** 100—110
— Сопротивление **малоцикловому разрушению** 87—93
— Сопротивление развитию **трещин** 93—95, 110, 111
Сопротивление **упругопластическим деформациям при малоцикловом нагружении** 81—87
— Структура металла при **высоких температурах** 135—140
Сосуды, работающие под давлением — Технология изготовления 229—232
Сплавы алюминиевые — Механические свойства 37, 61—68
Сплавы магниевые деформируемые 38—40
— — литейные 39
Сплавы титановые — Классификация 41 — Механические свойства сварных соединений 70—74
Способы повышения сопротивляемости сталей образованию холодных трещин 431—434
Ставки часовые тарифные для рабочих машиностроительных предприятий 477
— — сдельщиков сварочного цеха 476
Стали высокопрочные — Механические свойства 31, 32 — Химический состав 31, 32
Стали коррозионно-стойкие для работы в слабоагрессивных средах 33—35
— — в средах повышенной агрессивности 36, 37
— — в среднеагрессивных средах 35—37
Стали коррозионно-стойкие с пониженным содержанием никеля 37
Стали легированные — Механические свойства 29 — Технологические свойства 30 — Химический состав 29
— — низколегированные конструкционные — Механические свойства 26, 27
— Химический состав 27
— — теплоустойчивые — Механические свойства 32, 33 — Назначение 32
— — углеродистые — Механические свойства 23, 25, 29 — Назначение 25
— Нормируемые показатели 22,24 — Химический состав 23, 25

— — хромокремнемарганцовистые — Структуры 30
— — хромомолибденовые — Применение 30
Станки для зачистки заусенцев конструкции Уралмашзавода — Техническая характеристика 264
— — концов труб — Техническая характеристика 267
Станки для правки грибовидности сварных двутавровых балок — Техническая храктеристика 321
— — прокатки и проковки сварных швов — Техническая характеристика 322
Станки металлорежущие 284
— — отрезные — Техническая характеристика 274
Станы профилегибочные многовалковые — Техническая характеристика 277
Стенды роликовые — Техническая характеристика 306
— — сборочные 292
— — электромагнитные — Техническая характеристика 313
Стойки — Расчет 185—192
Стойкость металла и сварных соединений против коррозионных разрушений 154
— — образования горячих трещин — Критерии 403 — Методы оценки 403
Столы неповоротные — Техническая характеристика 307
Структура трудоемкости работ сварочных цехов 330
Средства защиты индивидуальные 558, 559
— — механизации универсального заготовительного оборудования 332
Среды для ускоренных испытаний сварных соединений на склонность к коррозионному растрескиванию 151
Сроки хранения запаса сварных узлов на складах сварочных цехов 523
СЭВ РС 3641—72 402

Т

Талрепы — Техническая характеристика 288
Тележка унифицированная — Техническая характеристика 309, 310
Трещины горячие — Виды 393, 394 — Механизм образования 397—399 — Понятие 393 — Топография 395
— — холодные — Закономерности образования 414—419 — Разновидности 414 — Сопротивляемость сталей их образованию при сварке 429
Трубопроводы — Технология изготовления 236—238
Трубы сварные — Технология изготовления 232—236

У

Упрочнители многобойковые чеканочные — Техническая характеристика 323
Уровень механизации и автоматизации сварочного производства 518
Условия в рабочей зоне производственных помещений допустимые метеорологические 534
Установки сборочные 292—296

Ф

Фермы — Расчет 192—198
Флюсоаппараты — Техническая характеристика 317, 318
Фонд времени работы оборудования действительный 503, 517
— — рабочего действительный годовой 502

Ч

ЧМТУ ЦНИИЧМ 982—63 54

Ш

Швы, выполненные электродами для сварки теплоустойчивых сталей — Механические свойства 60
— — с органическим покрытием — Механические свойства 60
— — с фтористо-кальциевым покрытием — Механические свойства 59
Швы сварные — Допускаемые напряжения 164, 165 — Зависимость свойств в температурном интервале хрупкости от структуры 400, 401

Э

Электробезопасность 549—554
Электроды, применяемые для сварки среднелегированных высокопрочных сталей — Характеристика 60
Элементы закрепляющие сборочного оборудования 285, 286
— — зданий — Допускаемые расстояния между ними 519
— — растянутые — Максимальная гибкость 193
— — сжатые — Максимальная гибкость 193
— — устойчивые сборочного оборудования 285, 286

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА