Сварка

В МАШИНОСТРОЕНИИ

СПРАВОЧНИК 4

Сварка
В МАШИНОСТРОЕНИИ

Справочник в 4 томах

Сварка
В МАШИНОСТРОЕНИИ

том 4

Редакционная коллегия:
Заслуженный деятель науки и техники РСФСР,
Герой Социалистического Труда, академик 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 Н. А. ОЛЬШАНСКИЙ;
лауреат Ленинской премии, д-р техн. наук А. И. АКУЛОВ;
д-р техн. наук В. А. ВИНОКУРОВ;
канд. техн. наук. Ю. Н. ЗОРИН

Под редакцией канд. техн. наук
Ю. Н. ЗОРИНА

Москва «Машиностроение» 1979

ББК 30.616
С24
УДК 621.791 (031)

Авторы:

Канд. техн. наук Ф. А. АКСЕЛЬРОД, канд. техн. наук Л. Е. АЛЕКИН, д-р техн. наук О. Н. БРАТКОВА, канд. техн. наук К. В. ВАСИЛЬЕВ, д-р техн. наук В. Н. ВОЛЧЕНКО, канд. техн. наук В. И. ГИРШ, канд. техн. наук Л. Н. ГОЛЬДФАРБ, канд. техн. наук А. К. ГУРВИЧ, канд. техн. наук Ю. С. ДОЛГОВ, канд. техн. наук М. И. ЗАКС, д-р техн. наук В. В. КЛЮЕВ, канд. техн. наук В. П. КУПРЕЕВ, канд. техн. наук Е. Д. ЛОНСКИЙ, инж. А. М. МИРКИН, канд. техн. наук Ю. И. НЕКРАСОВ, канд. техн. наук З. В. НИКИФОРОВА, канд. техн. наук Н. И. НИКИФОРОВ, д-р техн. наук А. В. ПЕТРОВ, д-р техн. наук С. В. РУМЯНЦЕВ, канд. техн. наук А. А. ТРОФИМОВ, канд. техн. наук В. С. ХАУСТОВ, канд. техн. наук А. И. ЧВЕРТКО

Рецензенты:

Н. П. АЛЕШИН, В. С. БОРИСЕНКО, Э. А. ГЛАДКОВ, А. И. КРАСОВСКИЙ, В. С. ФАСТРИЦКИЙ, В. Г. ЩЕРБИНСКИЙ, В. М. ЯМПОЛЬСКИЙ

Сварка в машиностроении: Справочник. В 4-х т./Редкол.: С24 Г. А. Николаев (пред.) и др.— М.: Машиностроение, 1979 — — Т.4/Под ред. Ю. Н. Зорина. 1979. 512 с., ил.

В пер.: 2 р. 70 к.

В четвертом томе справочника приведены сведения по источникам питания для сварки, наплавки и резки; трансформаторам, генераторам и специальным устройствам для питания и возбуждения дуги, а также по оборудованию для дуговой сварки в защитных газах, сварки под флюсом, электрошлаковой и контактной сварки, для специальных способов сварки и наплавки, газопламенной и дуговой резки. Рассмотрена пайка металлов, технология и оборудование для осуществления этого процесса. Изложены методы контроля качества сварных соединений и конструкций: радиационные, акустические, магнитные, капиллярные и другие; приведены стандарты, используемые в сварочном производстве.

Справочник предназначен для инженеров и техников, работающих в области сварочного производства на заводах, в исследовательских и проектных институтах, строительных и монтажных организациях.

С $\frac{31206\text{-}602}{038(01)\text{—}79}$ подписное 2704060000 ББК 30.616
6П4.3

© Издательство «Машиностроение», 1979 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава 1. МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОТКЛОНЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ СВАРНОГО ШВА, ВЫЗВАННЫХ ДЕЙСТВИЕМ ВОЗМУЩЕНИЙ (*Л. Е. Алекин*) 9
Общие сведения 9
Структурные схемы основных типов универсальных дуговых автоматов 10
Передаточные функции и статические ошибки системы И—А—Д—Ш 19
Определение коэффициентов передачи и постоянных времени звеньев структурных схем 24
Оценка статических свойств системы И—А—Д—Ш. Коэффициенты качества регулирования параметров сварного шва 26
Определение, физический смысл и размерность коэффициентов качества 28
Методики расчета и выбора основных параметров универсальных дуговых автоматов типа МРДП, АРДС и АРНД 32
Список литературы 40
Глава 2. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ, НАПЛАВКИ И РЕЗКИ (*О. Н. Браткова, Л. Н. Гольдфарб, М. И. Закс, В. С. Хаустов*) 42
Свойства сварочной дуги и требования к источнику питания 42
Вспомогательные устройства источников питания 47
Режимы работы и единая структура обозначений источников питания 50
Источники питания переменного тока 52
Источники питания постоянного тока 57
Сварочные многопостовые системы 76
Специализированные источники питания 80
Глава 3. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ (*А. В. Петров, В. П. Купреев*) . . . 94
Общие сведения 94
Сварочные горелки 95
Шланговые полуавтоматы 103
Аппараты для дуговой автоматической сварки 107
Установки для дуговой сварки в защитных газах 115
Список литературы 125
Глава 4. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ И НАПЛАВКИ БЕЗ ВНЕШНЕЙ ЗАЩИТЫ ДУГИ И ПОД ФЛЮСОМ (*А. И. Чвертко*) 126
Основные сведения о сварке и применяемом оборудовании 126
Классификация оборудования 127

Рабочее место, инструмент и защитные приспособления электросварщика ручной дуговой сварки 129
Аппараты для полуавтоматической сварки и наплавки 137
Аппараты для автоматической сварки и наплавки 140
Специализированные установки и станки, применяемые при комплексной автоматизации сварочного производства 147
Поточные и автоматические сборочно-сварочные линии 154
Список литературы 155

Глава 5. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ (*А. И. Чвертко*) 156
Классификация оборудования 156
Аппараты для полуавтоматической сварки и наплавки 156
Аппараты для автоматической сварки и наплавки 156
Специализированные установки и станки 158
Список литературы 161

Глава 6. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ (*Ф. А. Аксельрод, А. М. Миркин*) 163
Общие сведения 163
Функциональные схемы основных типов машин. Классификация 163
Основные требования к оборудованию 164
Электрические характеристики машин 165
Трансформаторы 166
Пневматическая и гидравлическая аппаратура 169
Машины для точечной сварки 172
Машины для рельефной сварки 189
Машины для шовной сварки 192
Машины для стыковой сварки 198
Аппаратура управления 204
Включение и регулирование тока 205
Тиристорные контакторы 208
Устройства для управления циклом сварки контактных машин 211
Синхронные прерыватели 216
Аппаратура конденсаторных машин 223
Аппаратура машин для сварки постоянным током 226
Список литературы 229

Глава 7. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ХОЛОДНОЙ, УЛЬТРАЗВУКОВОЙ, ДИФФУЗИОННОЙ, МИКРОПЛАЗМЕННОЙ, ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ И СВАРКИ ТРЕНИЕМ (*В. И. Гирш, А. И. Чвертко*) 231
Оборудование для холодной сварки 231
Оборудование для сварки трением 237
Оборудование для ультразвуковой сварки 243
Оборудование для диффузионной сварки 249
Оборудование для микроплазменной сварки 251
Оборудование для электронно-лучевой сварки 253
Список литературы 269

Глава 8. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ГАЗОВОЙ СВАРКИ, НАПЛАВКИ И ПАЙКИ (*Ю. И. Некрасов*) 271
Оборудование для транспортировки, хранения и газификации жидкого кислорода 271
Ацетиленовые генераторы 271

Предохранительные устройства 274
Баллоны и вентили 274
Перепускные рампы 276
Рукава 276
Газовые редукторы 276
Горелки 278
Список литературы 282

Глава 9. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ГАЗОПЛАМЕННОЙ И ПЛАЗМЕННО-ДУГОВОЙ РЕЗКИ (*К. В. Васильев, Н. И. Никифоров, А. А. Трофимов*) 283
Универсальные резаки 283
Керосинорезы 283
Вставные резаки 284
Специальные резаки и установки для ручной резки . . . 285
Стационарные машины для кислородной резки 288
Машины для плазменно-дуговой резки 292
Переносные газорезательные машины 294
Машинные резаки 295
Аппаратура для плазменно-дуговой резки 296
Источники питания для плазменно-дуговой резки 302
Оборудование для воздушно-дуговой резки 305
Список литературы 308

Глава 10. ОБРАЗОВАНИЕ СОЕДИНЕНИЙ И СПОСОБЫ ПАЙКИ (*З. В. Никифорова*) 309
Список литературы 314

Глава 11. МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПАЙКИ (*Ю. С. Долгов*) 315
Припои 315
Флюсы и газовые среды 327
Оборудование для пайки 331
Список литературы 332

Глава 12. ТЕХНОЛОГИЯ ПАЙКИ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ (*З. В. Никифорова*) 333
Общие вопросы технологии пайки 333
Пайка различных металлов 338
Конструирование паяных соединений 357
Список литературы 362

Глава 13. СВАРОЧНЫЕ ДЕФЕКТЫ И МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА (*В. Н. Волченко*) . . . 363
Технологические и конструктивные факторы качества сварки 363
Дефекты и уровень дефектности 365
Методы контроля качества 372
Контроль конструктивных и технологических факторов 377
Внешний осмотр соединений 378
Список литературы 379

Глава 14. РАДИАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ (*С. В. Румянцев*) 380
Термины и определения основных понятий в области ионизирующих излучений 380
Методы регистрации ионизирующих излучений 382

Классификация радиационных методов контроля 383
Радиографический метод контроля (радиография) 383
Радиоскопический метод контроля (радиоскопия) 393
Радиометрический метод контроля (радиометрия) 397
Область применения радиационных методов и средств контроля 398
Просвечивание сварных (и паяных) соединений 399
Оценка качества сварных соединений 401
Список литературы 402

Глава 15. АКУСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ (*А. К. Гурвич*) 403
Классификация методов контроля 403
Распространение, отражение и преломление упругих волн 403
Излучение и прием упругих волн 407
Аппаратура 411
Основные параметры ультразвукового контроля 413
Технология ультразвукового контроля 415
Особенности контроля соединений различного типа . . . 420
Надежность и автоматизация ультразвукового контроля 422
Список литературы 423

Глава 16. МАГНИТНЫЕ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ (*В. В. Клюев*) 424
Магнитопорошковый способ контроля 424
Магнитографический способ контроля 427
Феррозондовый и индукционный способы контроля 429
Метод вихревых токов 432
Список литературы 433

Глава 17. КАПИЛЛЯРНЫЕ, МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ, ТЕПЛОВЫЕ МЕТОДЫ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ (*В. В. Клюев*) 434
Капиллярные методы контроля 434
Металлографические методы контроля 438
Тепловые методы контроля 443
Методы контроля герметичности 445
Список литературы 446

Глава 18. СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ (*В. Н. Волченко*) 447
Элементы прикладной математической статистики 447
Статистический анализ и статистическое регулирование качества 456
Вероятностное обоснование планов (объемов) выборочного контроля 461
Вероятностная оценка достоверности контроля 464
Вероятностное обоснование норм допустимости дефектов 467
Список литературы 469

Глава 19. ГОСУДАРСТВЕННЫЕ СТАНДАРТЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В СВАРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ (*Е. Д. Лонский*) 470
Список литературы 504
Предметный указатель 505

Глава 1

МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОТКЛОНЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ СВАРНОГО ШВА, ВЫЗВАННЫХ ДЕЙСТВИЕМ ВОЗМУЩЕНИЙ

В производственных условиях на определенные части оборудования, с помощью которого осуществляется определенный технологический процесс сварки, воздействуют различные внешние факторы — возмущения. К возмущениям относятся изменения напряжения питающей сети и моментов нагрузки на валах приводов, отклонения давления в пневматической или гидравлической системах контактных машин и другие факторы. Возмущения вызывают изменения номинальных параметров режима сварки и, как следствие, отклонения параметров сварного шва. В зависимости от свойств оборудования и возмущений, отклонения номинальных параметров сварного соединения могут оказаться больше или меньше допустимых. Методика определения величин отклонений номинальных параметров режима сварки и сварного шва, вызванных действием возмущений, разработана с достаточной полнотой для автоматической сварки дугой непрерывного действия. Основополагающие труды в этой области принадлежат советским ученым: акад. АН СССР Б. Е. Патону и акад. АН УССР В. К. Лебедеву [9]; д-м техн. наук Г. М. Каспржаку и И. Я. Рабиновичу [12]

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Источник — автомат — дуга — шов образуют замкнутую динамическую систему (система И—А—Д—Ш). Ошибки регулирования системы И—А—Д—Ш, т. е. отклонения параметров сварного шва, обусловленные воздействием возмущений, рассчитывают по передаточным функциям, полученным из структурных схем. Структурные схемы системы И—А—Д—Ш представляют собою упрощенные математические модели процесса регулирования. Эти модели, несмотря на упрощения, позволяют с приемлемой для практики точностью рассчитать статические и динамические ошибки системы. Характер модели определяется в основном устройством дугового автомата. В данной главе рассмотрены только универсальные дуговые автоматы, предназначенные для сварки в нижнем положении. Такие автоматы широко применяются как в нашей стране, так и за рубежом.

Все многообразие реальных модификаций универсальных дуговых автоматов не зависимо от конструктивного исполнения может быть сведено к регуляторам трех основных типов: 1) механический регулятор дугового промежутка (МРДП) — автомат для сварки неплавящимся электродом без искусственных обратных связей; 2) автоматический регулятор дуги с саморегулированием (АРДС) — автомат с постоянной скоростью подачи электродной проволоки и 3) автоматический регулятор напряжения дуги (АРНД) — автомат для сварки неплавящимся электродом с искусственной обратной связью по напряжению дуги.

Широко распространенное мнение о том, что к регуляторам типа АРНД относятся автоматы для сварки плавящимся электродом с обратной связью по напряжению дуги (например, АДС-1000) неверно. При сварке плавящимся электродом всегда имеет место саморегулирование дуги, поэтому такие автоматы относятся к сложным системам: АРНД + АРДС. Описание свойств сложных систем в задачу настоящего издания не входит.

СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ ОСНОВНЫХ ТИПОВ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ДУГОВЫХ АВТОМАТОВ

Структурные схемы И—А—Д—Ш с МРДП (рис. 1), АРДС (рис. 2) и АРНД (рис. 3) составлены в отклонениях. Это позволяет линеаризовать систему и получить достаточно простые расчетные выражения. С этой же целью в регуляторе типа АРНД пренебрегают зоной нечувствительности сервомеханизма (звено *XIV*, рис. 3), так как ее значение обычно не превышает 0,1 В

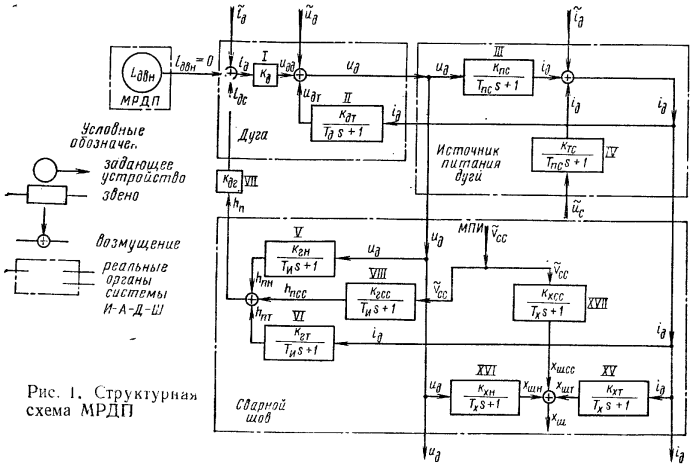


Рис. 1. Структурная схема МРДП

Все три регулятора, по-существу, представляют собою системы стабилизации, в соответствии с чем отклонения управляющих воздействий: внешней составляющей длины $l_{дв}$ дуги (МРДП, рис. 1), скорости $v_{пп}$ подачи электродной проволоки (АРДС, рис. 2) и напряжения $u_{дн}$ дуги (АРНД, рис 3) — приняты равными нулю. В МРДП регулирование осуществляется с помощью естественной отрицательной обратной связи по скрытой составляющей длины $l_{дс}$ дуги; в АРДС — с помощью естественной отрицательной обратной связи по скорости $v_э$ плавления электродной проволоки; в АРНД — с помощью искусственной отрицательной обратной связи по напряжению $u_д$ дуги.

Кроме этого, в АРДС и АРНД дополнительное регулирование происходит в результате действия естественных местных отрицательных обратных связей: в АРДС — по скрытой составляющей длины $l_{дс}$ дуги и скорости $v_{эв}$ плавления электродной проволоки, вызванной отклонением длины вылета; в АРНД — в результате действия скрытой составляющей длины $l_{дс}$ дуги.

На всех структурных схемах полные (суммарные) отклонения длины дуги, напряжения дуги, тока дуги, скорости плавления электродной проволоки, глубины провара и «икс» параметра шва обозначены соответственно через $l_д$, $u_д$, $i_д$, $v_э$, $h_п$ и $x_ш$. Под «икс» параметром шва подразумевается любой параметр сварного шва, количественная связь которого с отклонениями $u_д$, $i_д$ и $v_{сс}$ может быть описана апериодическим звеном, например, ширина шва высота усиления, площадь проплавления, содержание легирующего элемента в шве.

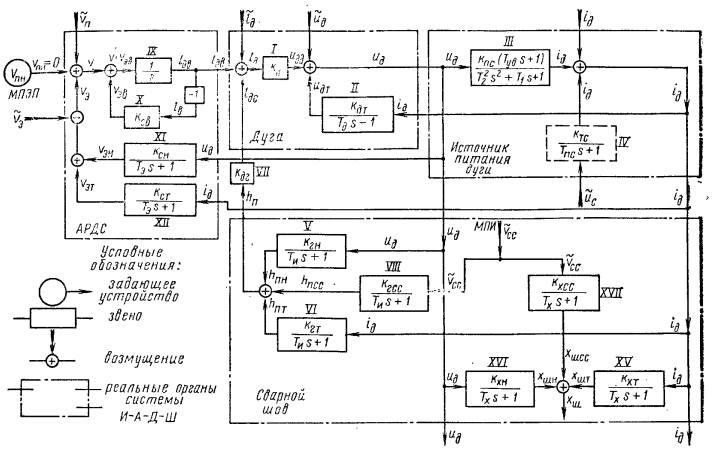


Рис. 2. Структурная схема АРДС

Подробное описание передаточных функций всех звеньев структурных схем МРДП, АРДС и АРНД приведено в табл. 1. В табл. 1 под «икс» параметром (звенья *XV*, *XVI*, *XVII*), в качестве примера, рассмотрено содержание хрома в шве при наплавке под керамическим флюсом.

На всех структурных схемах МПИ — механизм перемещения изделия. В структуре АРДС (см. рис. 2) МПЭП — механизм подачи электродной проволоки, v — относительная скорость плавления торца электродной проволоки. Все данные о возмущающих воздействиях приведены в табл. 2.

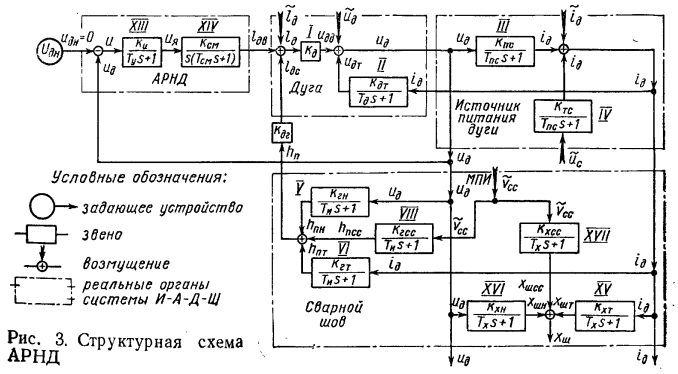
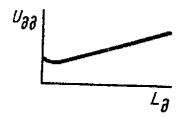
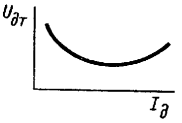
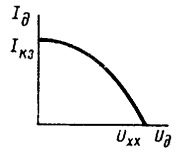
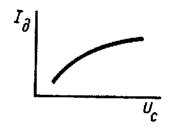
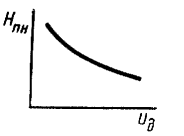
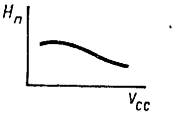
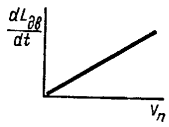
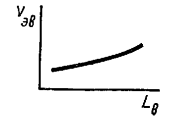
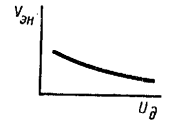
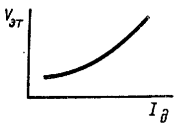
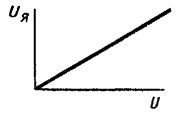
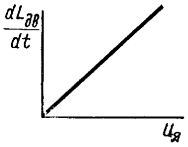
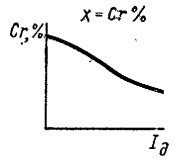


Рис. 3. Структурная схема АРНД

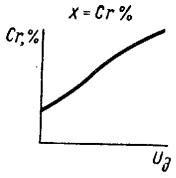
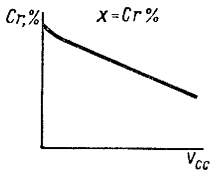
1. Передаточные функции, коэффициенты передачи и постоянные времени звеньев структурных схем И—А—Д—Ш с МРДП, АРДС или АРНД

№ звена	Передаточная функция	Статическая характеристика	Коэффициент передачи. Обозначение, название, физический смысл, диапазон возможных значений и размерность	Постоянная времени. Обозначение, название, физический смысл, диапазон возможных значений и размерность
I	$k_д$		$k_д$ — коэффициент напряжения дуги. Характеризует зависимость отклонения напряжения дуги от отклонения длины дуги. Численно равен градиенту столба дуги. $k_д = 0{,}8 \div 3{,}5$ В·мм$^{-1}$	—
II	$\frac{k_{дт}}{T_д s + 1}$		$k_{дт}$ — коэффициент напряжения дуги по току. Характеризует зависимость напряжения дуги от тока дуги. $k_{дт} = -24 \div 0{,}1$ В·А$^{-1}$	$T_д$ — постоянная времени дуги. Характеризует инерционность изменения напряжения дуги при мгновенном изменении тока дуги, обусловленную природой тепловых и электромагнитных процессов, происходящих в самой дуге. $T_д = 2{,}5 \cdot 10^{-4} \div 5 \cdot 10^{-3}$ с
III	$\frac{k_{пс}}{T_{пс} s + 1}$ для сварочного трансформатора или выпрямителя $\frac{k_{пс}(T_{цв} s + 1)}{T_2^2 s^2 + T_1 s + 1}$ для сварочного генератора		$k_{пс}$ — коэффициент питающей системы. Характеризует влияние ВАХ источника на величину отклонения тока дуги, обусловленную отклонением напряжения дуги. $k_{пс} = -(0{,}1 \div 33)$ А·В$^{-1}$	$T_{пс}$ — постоянная времени питающей системы. Характеризует инерционность изменения тока источника питания при мгновенном изменении напряжения дуги, обусловленную природой электромагнитных процессов, происходящих в сварочном трансформаторе или выпрямителе. $T_{пс} = 2 \cdot 10^{-3} \div 30 \cdot 10^{-3}$ с $T_{цв}$, T_1 и T_2 — постоянные времени цепи возбуждения и якорной цепи сварочного генератора. Характеризуют то же, что $T_{пс}$, но для сварочного генератора.
IV	$\frac{k_{тс}}{T_{пс} s + 1}$		$k_{тс}$ — коэффициент приведения напряжения сети к току дуги. Характеризует влияние изменения напряжения сети на величину отклонения тока дуги $k_{тс} = 0{,}5 \div 31$ А·В$^{-1}$	$T_{пс}$ — см. звено III
V	$\frac{k_{гн}}{T_и s + 1}$		$k_{гн}$ — коэффициент глубины провара по напряжению дуги. Характеризует отклонение напряжения дуги на изменение глубины провара. $k_{гн} = -2 \cdot 10^{-2} \div -4 \cdot 10^{-1}$ мм·В$^{-1}$	$T_и$ — постоянная времени проплавления изделия. Характеризует инерционность изменения глубины провара при мгновенном изменении напряжения дуги, обусловленную природой теплофизических процессов, происходящих в сварочной ванне. $T_и = 1 \cdot 10^{-1} \div 1{,}4$ с
VI	$\frac{k_{гт}}{T_и s + 1}$		$k_{гт}$ — коэффициент глубины провара по току дуги. Характеризует влияние отклонения тока дуги на изменение глубины провара. $k_{гт} = 7 \cdot 10^{-3} \div 12 \cdot 10^{-2}$ мм·А$^{-1}$	$T_и$ — постоянная времени проплавления изделия. Характеризует инерционность изменения глубины провара при мгновенном изменении тока дуги, обусловленную природой теплофизических процессов, происходящих в сварочной ванне. $T_и = 1 \cdot 10^{-1} \div 1{,}4$ с
VII	$k_{дг}$		$k_{дг}$ — коэффициент длины дуги по глубине провара. Характеризует влияние смещения поверхности сварочной ванны, обусловленное изменением глубины провара и толщины прослойки жидкого металла под дугой, на отклонение скрытой составляющей длины дуги. $k_{дг} = 0{,}6 \div 1{,}8$	—
VIII	$\frac{k_{гсс}}{T_и s + 1}$		$k_{гсс}$ — коэффициент глубины провара по скорости сварки. Характеризует зависимость глубины провара от скорости сварки, обусловленную изменением погонной энергии дуги. $k_{гсс} = -2 \cdot 10^{-3} \div -2{,}5 \cdot 10^{-1}$ с	$T_и$ — постоянная времени проплавления изделия. Характеризует инерционность изменения глубины провара при мгновенном изменении скорости сварки, обусловленную природой теплофизических процессов, происходящих в сварочной ванне. $T_и = 1 \cdot 10^{-1} \div 1{,}4$ с

Продолжение табл. 1

№ звена	Передаточная функция	Статическая характеристика	Коэффициент передачи. Обозначение, название, физический смысл, диапазон возможных значений и размерность	Постоянная времени. Обозначение, название, физический смысл, диапазон возможных значений и размерность
IX	$\frac{1}{s}$		Коэффициент интегрирующего звена выбран равным единице, что предопределяет соответствие размерностей скорости изменения внешней составляющей длины дуги и скорости подачи (или скорости плавления) электродной проволоки. Характеризует зависимость отклонения внешней составляющей длины дуги от отклонения скорости подачи или скорости плавления электродной проволоки	—
X	$k_{св}$		$k_{св}$ — коэффициент саморегулирования по вылету. Характеризует зависимость скорости плавления электродной проволоки от длины ее вылета, обусловленную изменением температуры подогрева вылета при изменении его длины. $k_{св} = 6 \cdot 10^{-2} \div 3{,}0\ с^{-1}$	—
XI	$\frac{k_{сн}}{T_э s + 1}$		$k_{сн}$ — коэффициент саморегулирования по напряжению дуги. Характеризует зависимость скорости плавления электродной проволоки от напряжения дуги, обусловленную изменением тепловой мощности дуги и теплоотдачи от столба дуги во внешнюю среду. $k_{сн} = -0{,}5 \cdot 10^{-2} \div -2 \cdot 10^{-1}$ см $\cdot$ с$^{-1} \cdot$ В$^{-1}$	$T_э$ — постоянная времени плавления электродной проволоки. Характеризует инерционность изменения скорости плавления электродной проволоки при мгновенном изменении напряжения дуги, обусловленную инерционностью процесса теплопередачи от дуги через прослойку жидкого металла к плавящемуся торцу электродной проволоки. $T_э = 0 \div 0{,}15$ с
XII	$\frac{k_{ст}}{T_э s + 1}$		$k_{ст}$ — коэффициент саморегулирования по току дуги. Характеризует зависимость скорости плавления электродной проволоки от тока дуги, обусловленную изменением тепловой мощности дуги и температуры подогрева торца электродной проволоки током. $k_{ст} = 2 \cdot 10^{-3} \div 5{,}5 \cdot 10^{-2}$ см $\cdot$ с$^{-1} \cdot$ А$^{-1}$	$T_э$ — постоянная времени плавления электродной проволоки. Характеризует инерционность изменения скорости плавления электродной проволоки при мгновенном изменении тока дуги, обусловленную инерционностью процесса теплопередачи от дуги через прослойку жидкого металла к плавящемуся торцу электродной проволоки. $T_э = 0 \div 0{,}15$ с
XIII	$\frac{k_у}{T_у s + 1}$		$k_у$ — коэффициент усиления. Устанавливает количественную зависимость отклонения напряжения на якоре двигателя сервомеханизма от величины отклонения напряжения на входе усилителя. $k_у = 20 \div 150$	$T_у$ — постоянная времени усилителя. Характеризует инерционность изменения напряжения на выходе усилителя (напряжения на якоре двигателя сервомеханизма АРНД) при мгновенном изменении напряжения на входе усилителя, обусловленную природой электромагнитных процессов в усилителе. $T_у = 1 \cdot 10^{-5} \div 2 \cdot 10^{-3}$ с
XIV	$\frac{k_{см}}{s(T_{см} s + 1)}$		$k_{см}$ — коэффициент сервомеханизма. Характеризует количественную зависимость скорости изменения внешней составляющей длины дуги от величины отклонения напряжения на якоре двигателя сервомеханизма. $k_{см} = (4 \div 40)\ 10^{-2}$ мм $\cdot$ с$^{-1} \cdot$ В$^{-1}$	$T_{см}$ — постоянная времени сервомеханизма. Характеризует инерционность изменения внешней составляющей длины дуги при мгновенном изменении напряжения на якоре двигателя сервомеханизма, обусловленную инерционностью масс якоря, редуктора и сварочной горелки автомата. $T_{см} = 5 \cdot 10^{-2} \div 4 \cdot 10^{-1}$ с
XV	$\frac{k_{хт}}{T_х s + 1}$		$k_{хт}$ — коэффициент икс-параметра шва, по току дуги, например, содержания хрома в шве при наплавке под керамическим флюсом. Характеризует зависимость концентрации хрома в сварочной ванне от отклонения тока дуги, обусловленную изменением тепловой мощности дуги и соотношения между внешней и скрытой составляющими длины дуги. $k_{Cr т} = -(6 \div 12)\ 10^{-3}$ [Cr %] А$^{-1}$	$T_х$ — постоянная времени икс-параметра шва, например, содержания хрома в шве при наплавке под керамическим флюсом. Характеризует инерционность процесса изменения концентрации хрома в сварочной ванне при мгновенном отклонении тока дуги, обусловленную природой теплофизических процессов, происходящих в ванне. $T_{Cr} = 0{,}4 \div 0{,}6$ с

Продолжение табл. 1

№ звена	Передаточная функция	Статическая характеристика	Коэффициент передачи. Обозначение, название, физический смысл, диапазон возможных значений и размерность	Постоянная времени. Обозначение, название, физический смысл, диапазон возможных значений и размерность
XVII	$\frac{k_{x\text{н}}}{T_x s + 1}$		$k_{x\text{н}}$ — коэффициент икс-параметра шва по напряжению дуги, например, содержания хрома в шве при наплавке под керамическим флюсом. Характеризует зависимость концентрации хрома в сварочной ванне от отклонения напряжения дуги, обусловленную изменением тепловой мощности дуги и соотношения между внешней и скрытой составляющими длины дуги. $k_{\text{Cr н}} = (2 \div 4)\ 10^{-1}$ [Cr%] В^{-1}	T_x — постоянная времени икс-параметра шва, например, содержания хрома в шве, при наплавке под керамическим флюсом. Характеризует инерционность процесса изменения концентрации хрома в сварочной ванне при мгновенном отклонении напряжения дуги, обусловленную природой теплофизических процессов, происходящих в ванне. $T_{\text{Cr}} = 0{,}4 \div 0{,}6$ с
XVIII	$\frac{k_{x\text{cc}}}{T_x s + 1}$		$k_{x\text{ cc}}$ — коэффициент икс-параметра шва по скорости сварки, например, содержания хрома в шве при наплавке под керамическим флюсом. Характеризует зависимость концентрации хрома в сварочной ванне от отклонения скорости сварки, обусловленную изменением погонной энергии $k_{\text{Cr cc}} = (2 \div 4)\ 10^{-2}$ [Cr%] мм·с$^{-1}$	T_x — постоянная времени икс-параметра шва, например, содержания хрома в шве при наплавке под керамическим флюсом. Характеризует инерционность процесса изменения концентрации хрома в сварочной ванне при мгновенном отклонении скорости сварки, обусловленную природой теплофизических процессов, происходящих в ванне. $T_{\text{Cr}} = 0{,}4 \div 0{,}6$ с

2. Характеристика реально-возможных возмущений

Возмущение	Характер изменения возмущающей величины	Причины возникновения	Оригинал	Изображение (Карсон)
$\tilde{l}_д$ — по длине дуги	Скачок	Зазоры в кинематической цепи сварочной головки или сервомеханизма. Резкое изменение профиля изделия. Колебания держателя при шланговой полуавтоматической сварке и другие причины механического характера	$\tilde{l}_д$	$\tilde{l}_д\ (s) = \tilde{l}_д$
	Линейный	Непараллельность направляющих сварочной головки и изделия. Деформация изделия в процессе сварки	$\tilde{l}_{дv} = V_{cc} \operatorname{tg} \alpha t$	$\tilde{l}_{дv}\ (s) = \frac{V_{cc} \operatorname{tg} \alpha}{s}$
	Гармонический	Вибрация конструктивных элементов (консолей, направляющих штанг) сварочных установок от механических нагрузок.	$\tilde{l}_{дг} = l_{гm} \sin \omega t$	$\tilde{l}_{дг}\ (s) = l_{гm} \frac{\omega s}{s^2 + \omega^2}$
	Стохастический	Капельный перенос электродного металла. Колебания поверхности сварочной ванны, магнитное дутье, влияние воздушных потоков. Местные изменения зазора в стыке и другие причины технологического характера	—	—
$\tilde{u}_д$ — по напряжению дуги	Скачок Линейный Гармонический Стохастический	Те же, что для возмущения по длине дуги и некоторые другие: прорывы газов через флюс, срыв защиты	Отдельно не рассматривалось, так как приводится к возмущению по длине дуги через звено I с передаточной функцией $W_I\ (s) = k_д$	

Продолжение табл. 2

Возмущение	Характер изменения возмущающей величины	Причины возникновения	Оригинал	Изображение (Карсон)
$\tilde{v}_{\text{п}}$ — по скорости подачи электродной проволоки	Скачок	Изменение статического момента нагрузки в механизме подачи электродной проволоки из-за перегиба шланга (при полуавтоматической сварке), заедания проволоки в кассете, дополнительного трения в редукторе, изменения затяжки контактных вкладышей и других механических причин	$\tilde{v}_{\text{п}}$	$\tilde{v}_{\text{п}}(s) = \tilde{v}_{\text{п}}$
$\tilde{v}_{\text{э}}$ — по скорости плавления электродной проволоки	»	Изменение диаметра электродной проволоки при замене бухты в кассете. Неоднородность химического состава проволоки или флюса. Неоднородность плотности шихты порошковой проволоки	Отдельно не рассматривалось, так как приводится к возмущению по скорости подачи умножением на минус единицу	
$\tilde{u}_{\text{с}}$ — по напряжению сети	»	Изменение напряжения силовой сети, обусловленное включением и отключением групп потребителей различной мощности	$\tilde{u}_{\text{с}}$	$\tilde{u}_{\text{с}}(s) = \tilde{u}_{\text{с}}$
$\tilde{I}_{\text{д}}$ — по току дуги	»	Ступенчатое изменение параметров сварочной цепи, обусловленное переганием секции балластного реостата, изменением зазора магнитопровода дросселя, тока подмагничивания и другими причинами	Отдельно не рассматривалось, так как приводится к возмущению по напряжению сети через звено IV с передаточной функцией $W(s) = \frac{k_{\text{тс}}}{T_{\text{пс}}s + 1}$	
$\tilde{v}_{\text{сс}}$ — по скорости сварки	»	Изменение скорости сварки из-за неровностей пути или перекоса направляющих головки, торможения от веса кабелей и шлангов, дополнительного момента, возникающего при сварке неповоротного стыка от массы головки или неуравновешенных масс изделия	$\tilde{v}_{\text{сс}}$	$\tilde{v}_{\text{сс}}(s) = \tilde{v}_{\text{сс}}$

ПЕРЕДАТОЧНЫЕ ФУНКЦИИ И СТАТИЧЕСКИЕ ОШИБКИ СИСТЕМЫ И — А — Д — Ш

По структурным схемам И—А—Д—Ш с МРДП, АРДС и АРНД получены передаточные функции и статические ошибки регуляторов для всех наиболее характерных возмущений и четырех изучаемых величин, представляющих наибольший интерес для сварщиков: глубины $h_{\text{п}}$ провара, икс-параметра $x_{\text{ш}}$ шва, напряжения $u_{\text{д}}$ дуги и тока $i_{\text{д}}$ дуги.

Имея выражения передаточных функций системы И—А—Д—Ш и законы возмущающих воздействий, применив приемы, известные из теории автоматического регулирования [4], рассчитывают установившиеся динамические ошибки и переходные характеристики системы для любого из четырех выходных параметров.

В выражениях передаточных функций и статических ошибок системы И—А—Д—Ш приняты следующие обозначения.

Возмущающие факторы (возмущения): $\tilde{l}_{\text{д}}$ — длина дуги, мм; $\tilde{u}_{\text{с}}$ — напряжение сети, В; $\tilde{v}_{\text{сс}}$ — скорость сварки, мм/с; $\tilde{v}_{\text{п}}$ — скорость подачи электродной проволоки, см/с.

Выходные параметры: $h_{\text{п}}$ — глубина провара, мм; $x_{\text{ш}}$ — какой-либо другой параметр шва; $u_{\text{д}}$ — напряжение дуги, В; $i_{\text{д}}$ — ток дуги, А.

Коэффициенты передачи некоторых ветвей структурных схем (введены с целью сокращения записи передаточных функций):

$$K_{\text{г}} = K_{\text{гн}} + K_{\text{гт}}, \text{ где } K_{\text{гн}} = k_{\text{д}}k_{\text{гн}};\quad K_{\text{гт}} = k_{\text{д}}k_{\text{пс}}k_{\text{гт}};$$
$$K_{x} = K_{x\text{н}} + K_{x\text{т}}, \text{ где } K_{x\text{н}} = k_{\text{д}}k_{x\text{н}};\quad K_{x\text{т}} = k_{\text{д}}k_{\text{пс}}k_{x\text{т}};$$
$$K_{\text{с}} = K_{\text{сн}} + K_{\text{ст}}, \text{ где } K_{\text{сн}} = k_{\text{д}}k_{\text{сн}};\quad K_{\text{ст}} = k_{\text{д}}k_{\text{пс}}k_{\text{ст}}.$$

При расчете ошибок регулирования значения $k_{\text{пс}}$, $k_{\text{гн}}$, $k_{x\text{н}}$, $k_{\text{гсс}}$ и $k_{\text{хсс}}$ следует подставлять в выражения передаточных функций и статических ошибок с отрицательным знаком (в соответствии с характером реальных функциональных зависимостей) — см. табл. 1.

Передаточные функции $\Phi(s)$ и статические ошибки Δ системы И—А—Д—Ш с МРДП.

1. При возмущении по длине дуги:

а) $\underset{l_{\text{д}}-h_{\text{п}}}{\Phi(s)} = (T_{\text{д}}s + 1)\,[K_{\text{гн}}(T_{\text{пс}}s + 1) + K_{\text{гт}}]\,[H_0(s)]^{-1}$;

$$\Delta h_{\text{п}} = K_{\text{г}}\,[H_0(0)]^{-1}\tilde{l}_{\text{д}};$$

б) $\underset{l_{\text{д}}-x_{\text{ш}}}{\Phi(s)} = (T_{\text{и}}s + 1)\,(T_{\text{д}}s + 1)\,[K_{x\text{н}}(T_{\text{пс}}s + 1) + K_{x\text{т}}]\,[H_0(s)\,(T_{x}s + 1)]^{-1}$;

$$\Delta x_{\text{ш}} = K_{x}\,[H_0(0)]^{-1}\tilde{l}_{\text{д}};$$

в) $\underset{l_{\text{д}}-u_{\text{д}}}{\Phi(s)} = k_{\text{д}}(T_{\text{и}}s + 1)\,(T_{\text{пс}}s + 1)\,(T_{\text{д}}s + 1)\,[H_0(s)]^{-1}$;

$$\Delta u_{\text{д}} = k_{\text{д}}\,[H_0(0)]^{-1}\tilde{l}_{\text{д}};$$

г) $\underset{l_{\text{д}}-i_{\text{д}}}{\Phi(s)} = k_{\text{д}}k_{\text{пс}}(T_{\text{и}}s + 1)\,(T_{\text{д}}s + 1)\,[H_0(s)]^{-1}$;

$$\Delta i_{\text{д}} = k_{\text{д}}k_{\text{пс}}\,[H_0(0)]^{-1}\tilde{l}_{\text{д}}.$$

2. При возмущении по напряжению сети:

а) $\underset{u_с - h_п}{\Phi(s)} = k_{тс}[k_{дт}k_{гн} + k_{гт}(T_д s + 1)][H_0(s)]^{-1}$;

$$\Delta h_п = k_{тс}[k_{дт}k_{гн} + k_{гт}][H_0(0)]^{-1}\tilde{u}_с;$$

б) $\underset{u_с - x_ш}{\Phi(s)} = k_{тс}\{k_{хн}[k_{дт}(T_и s + 1) + k_{дг}k_д k_{гт}(T_д s + 1)] +$

$$+ k_{хт}(T_д s + 1)[T_и s + 1 - k_{дг}K_{гн}]\}[H_0(s)(T_х s + 1)]^{-1};$$

$$\Delta x_ш = k_{тс}\{k_{хн}[k_{дт} + k_{дг}k_д k_{гт}] + k_{хт}[1 - k_{дг}K_{гн}]\}[H_0(0)]^{-1}\tilde{u}_с;$$

в) $\underset{u_с - u_д}{\Phi(s)} = k_{тс}[k_{дт}(T_и s + 1) + k_{дг}k_д k_{гт}(T_д s + 1)][H_0(s)]^{-1}$;

$$\Delta u_д = k_{тс}[k_{дт} + k_{дг}k_д k_{гт}][H_0(0)]^{-1}\tilde{u}_с;$$

г) $\underset{u_с - i_д}{\Phi(s)} = k_{тс}(T_д s + 1)[T_и s + 1 - k_{дг}K_{гн}][H_0(s)]^{-1}$;

$$\Delta i_д = k_{тс}[1 - k_{дг}K_{гн}][H_0(0)]^{-1}\tilde{u}_с.$$

3. При возмущении по скорости сварки:

а) $\underset{v_{сс} - h_п}{\Phi(s)} = k_{гсс}[(T_{пс}s + 1)(T_д s + 1) - k_{дт}k_{пс}][H_0(s)]^{-1}$;

$$\Delta h_п = k_{гсс}[1 - k_{дт}k_{пс}][H_0(0)]^{-1}\tilde{v}_{сс};$$

б) $\underset{v_{сс} - x_ш}{\Phi(s)} = k_{гсс}k_{дг}(T_д s + 1)[K_{хн}(T_{пс}s + 1) + K_{хт}][H_0(s)[T_х s + 1)]^{-1} +$

$$+ k_{хсс}(T_х s + 1)^{-1};$$

$$\Delta x_ш = \{k_{гсс}k_{дг}[K_{хн} + K_{хт}][H_0(0)]^{-1} + k_{хсс}\}\tilde{v}_{сс};$$

в) $\underset{v_{сс} - u_д}{\Phi(s)} = k_{гсс}k_д k_{дг}(T_{пс}s + 1)(T_д s + 1)[H_0(s)]^{-1}$;

$$\Delta u_д = k_{гсс}k_д k_{дг}[H_0(0)]^{-1}\tilde{v}_{сс};$$

г) $\underset{v_{сс} - i_д}{\Phi(s)} = k_{гсс}k_д k_{дг}k_{пс}(T_д s + 1)[H_0(s)]^{-1}$;

$$\Delta i_д = k_{гсс}k_д k_{дг}k_{пс}[H_0(0)]^{-1}\tilde{v}_{сс}.$$

Характеристический полином И—А—Д—Ш с МРДП

$$H_0(s) = (T_и s + 1)[T_{пс}s + 1)(T_д s + 1) - k_{дт}k_{пс}] - k_{дг}(T_д s + 1) \times$$
$$\times [K_{гн}(T_{пс}s + 1) + K_{гт}];$$
$$H_0(0) = 1 - k_{дт}k_{пс} - k_{дг}K_г.$$

Передаточные функции $\Phi(s)$ и статические ошибки Δ системы И—А—Д—Ш с АРДС.

1. При возмущении по скорости подачи электродной проволоки:

а) $\underset{v_п - h_п}{\Phi(s)} = (T_э s + 1)(T_д s + 1)[K_{гн}(T_2^2 s^2 +$

$$+ T_1 s + 1) + K_{гт}(T_{цв}s + 1)][H_0(s)]^{-1};$$
$$\Delta h_п = K_г[H_0(0)]^{-1}\tilde{v}_п;$$

б) $\underset{v_п - x_ш}{\Phi(s)} = (T_э s + 1)(T_д s + 1)(T_и s + 1)[K_{цн}(T_2^2 s^2 + T_1 s + 1) +$

$$+ K_{хт}(T_{цв}s + 1)][H_0(s)(T_х s + 1)]^{-1};$$
$$\Delta x_ш = K_х[H_0(0)]^{-1}\tilde{v}_п;$$

в) $\underset{v_п - u_д}{\Phi(s)} = k_д(T_2^2 s^2 + T_1 s + 1)(T_э s + 1)(T_д s + 1)(T_и s + 1)[H_0(s)]^{-1}$;

$$\Delta u_д = k_д[H_0(0)]^{-1}\tilde{v}_п;$$

г) $\underset{v_п - i_д}{\Phi(s)} = k_д k_{пс}(T_{цв}s + 1)(T_э s + 1)(T_д s + 1)(T_и s + 1)[H_0(s)]^{-1}$;

$$\Delta i_д = k_д k_{пс}[H_0(0)]^{-1}\tilde{v}_п.$$

2. При возмущении по длине дуги:

а) $\underset{l_д - h_п}{\Phi(s)} = (s + k_{св})(T_э s + 1)(T_д s + 1)[K_{гн}(T_2^2 s^2 + T_1 s + 1) +$

$$+ K_{гт}(T_{цв}s + 1)][H_0(s)]^{-1};$$
$$\Delta h_п = k_{св}K_г[H_0(0)]^{-1}\tilde{l}_д;$$

б) $\underset{l_д - x_ш}{\Phi(s)} = (s + k_{св})(T_э s + 1)(T_д s + 1)(T_и s + 1)[K_{хн}(T_2^2 s^2 + T_1 s + 1) +$

$$+ K_{хт}(T_{цв}s + 1)][H_0(s)(T_х s + 1)]^{-1};$$
$$\Delta x_ш = k_{св}K_х[H_0(0)]^{-1}\tilde{l}_д;$$

в) $\underset{l_д - u_д}{\Phi(s)} = k_д(s + k_{св})(T_2^2 s^2 + T_1 s + 1) \times$

$$\times (T_э s + 1)(T_д s + 1)(T_и s + 1)[H_0(s)]^{-1};$$
$$\Delta u_д = k_{св}k_д[H_0(0)]^{-1}\tilde{l}_д;$$

г) $\underset{l_д - i_д}{\Phi(s)} = k_д k_{пс}(s + k_{св})(T_{цв}s + 1)(T_э s + 1)(T_д s + 1)(T_и s + 1)[H_0(s)]^{-1}$;

$$\Delta i_д = k_{св}k_д k_{пс}[H_0(0)]^{-1}\tilde{l}_д.$$

3. При возмущении по скорости сварки:

а) $\underset{v_{со} - h_п}{\Phi(s)} = k_{гсс}\{(s + k_{св})(T_э s + 1)[(T_д s + 1)(T_2^2 s^2 + T_1 s + 1) - k_{дт}k_{пс} \times$

$$\times (T_{цв}s + 1)] - (T_д s + 1)[K_{сн}(T_2^2 s^2 + T_1 s + 1) +$$
$$+ K_{ст}(T_{цв}s + 1)]\}[H_0(s)]^{-1};$$
$$\Delta h_п = k_{гсс}[k_{св}(1 - k_{дт}k_{пс}) - K_с][H_0(0)]^{-1}\tilde{v}_{сс};$$

б) $\underset{v_{сс}-x_ш}{\Phi(s)} = \{k_{гсс}k_{дг}(s+k_{св})(T_э s+1)(T_д s+1)[K_{хв}\times$

$\times(T_2^2 s^2+T_1 s+1)+K_{хт}(T_{цв}s+1)][H_0(s)]^{-1}+k_{хсс}\}(T_х s+1)^{-1}$;

$\Delta x_ш = \{k_{гсс}k_{дг}k_{св}K_х[H_0(0)]^{-1}+k_{хсс}\}\tilde{v}_{сс}$;

в) $\underset{v_{сс}-u_д}{\Phi(s)} = k_{гсс}k_{дг}k_д(s+k_{св})(T_2^2 s^2+T_1 s+1)(T_э s+1)(T_д s+1)[H_0(s)]^{-1}$;

$\Delta u_д = k_{гсс}k_{дг}k_д k_{св}[H_0(0)]^{-1}\tilde{v}_{сс}$;

г) $\Phi_{v_{сс}-i_д}(s) = k_{гсс}k_{дг}k_д k_{пс}(s+k_{св})(T_{цв}s+1)(T_э s+1)(T_д s+1)[H_0(s)]^{-1}$;

$\Delta i_д = k_{гсс}k_{дг}k_д k_{пс}k_{св}[H_0(0)]^{-1}\tilde{v}_{сс}$.

4. При возмущении по напряжению сети (для сварочных выпрямителей и трансформаторов):

а) $\underset{u_с-h_п}{\Phi(s)} = k_{тс}\{k_{гн}[k_{дт}(s+k_{св})(T_э s+1)+k_д k_{ст}(T_д s+1)]+$

$+k_{гт}[(s+k_{св})(T_э s+1)(T_д s+1)-K_{сн}]\}[H_{01}(s)]^{-1}$;

$\Delta h_п = k_{тс}\{k_{гн}[k_{дт}k_{св}+k_д k_{ст}]+k_{гт}[k_{св}-K_{сн}]\}[H_{01}(0)]^{-1}\tilde{u}_с$;

б) $\underset{u_с-x_ш}{\Phi(s)} = k_{тс}k_{хн}\{(s+k_{св})(T_э s+1)[k_{дт}(T_и s+1)+k_{дг}(T_д s+1)k_д k_{гт}]+$

$+(T_д s+1)(T_и s+1)k_д k_{ст}\}[H_{01}(s)(T_х s+1)]^{-1}+k_{тс}k_{хт}\{(T_д s+1)(s+$

$+k_{св})(T_э s+1)[T_и s+1-k_{дг}K_{гн}]-(T_и s+1)K_{сн}\}[H_{01}(s)[T_х s+1)]^{-1}$;

$\Delta x_ш = k_{тс}k_{хн}\{k_{св}[k_{дт}+k_{дг}k_д k_{гт}]+k_д k_{ст}\}[H_{01}(0)]^{-1}\tilde{u}_с+k_{тс}k_{хт}\times$

$\times\{k_{св}[1-k_{дг}K_{гн}]-K_{сн}\}[H_{01}(0)]^{-1}\tilde{u}_с$;

в) $\underset{u_с-u_д}{\Phi(s)} = k_{тс}\{(s+k_{св})(T_э s+1)[k_{дт}(T_и s+1)+$

$+k_{дг}(T_д s+1)k_д k_{гт}]+(T_д s+1)(T_и s+1)k_д k_{ст}\}[H_{01}(s)]^{-1}$;

$\Delta u_д = k_{тс}\{k_{св}[k_{дт}+k_{дг}k_д k_{гт}]+k_д k_{ст}\}[H_{01}(0)]^{-1}\tilde{u}_с$;

г) $\underset{u_с-i_д}{\Phi(s)} = k_{тс}[(T_д s+1)(s+k_{св})(T_э s+1)(T_и s+1-k_{дг}K_{гн})-$

$-(T_и s+1)K_{сн}][H_{01}(s)]^{-1}$;

$\Delta i_д = k_{тс}[k_{св}(1-k_{дг}K_{гн})-K_{сн}][H_{01}(0)]^{-1}\tilde{u}_с$.

Характеристические полиномы И—А—Д—Ш с АРДС:

$H_0(s) = (s+k_{св})(T_э s+1)\{(T_и s+1)[(T_д s+1)(T_2^2 s^2+T_1 s+1)-$

$-k_{дт}k_{пс}(T_{цв}s+1)]-k_{дг}(T_д s+1)[K_{гн}(T_2^2 s^2+T_1 s+1)+$

$+K_{гт}(T_{цв}s+1)]\}-(T_д s+1)(T_и s+1)\times$

$\times[K_{сн}(T_2^2 s^2+T_1 s+1)+K_{ст}(T_{цв}s+1)]$;

$H_{01}(s) = (s+k_{св})(T_э s+1)\{(T_и s+1)[(T_д s+1)(T_{пс}s+1)-k_{дт}k_{пс}]-$

$-k_{дг}(T_д s+1)[K_{гн}(T_{пс}s+1)+K_{гт}]\}-$

$-(T_д s+1)(T_и s+1)[K_{сн}(T_{пс}s+1)+K_{ст}]$.

$H_0(0) = H_{01}(0) = k_{св}(1-k_{дт}k_{пс}-k_{дг}K_г)-K_с$.

Для получения передаточных функций АРДС, соответствующих питанию дуги от сварочного трансформатора или выпрямителя, в выражениях передаточных функций АРДС при возмущениях по скорости подачи электродной проволоки, длине дуги и скорости сварки достаточно положить: $T_{цв}=0$, $T_2=0$, $T_f=T_{пс}$ и $H_0(s)=H_{01}(s)$.

Передаточные функции $\Phi(s)$ и статические ошибки Δ системы И—А—Д—Ш с АРНД.

1. При возмущении по длине дуги:

а) $\underset{i_д-h_п}{\Phi(s)} = s(T_у s+1)(T_{см}s+1)(T_д s+1)[K_{гн}(T_{пс}s+1)+K_{гт}][H_0(s)]^{-1}$;

$\Delta h_п = 0$;

б) $\underset{i_д-x_ш}{\Phi(s)} = s(T_у s+1)(T_{см}s+1)(T_д s+1)(T_и s+1)[K_{хн}(T_{пс}s+1)+K_{хт}]\times$

$\times[H_0(s)(T_х s+1)]^{-1}$;

$\Delta x_ш = 0$;

в) $\underset{i_д-u_д}{\Phi(s)} = k_д s(T_у s+1)(T_{см}s+1)(T_д s+1)(T_{пс}s+1)(T_и s+1)[H_0(s)]^{-1}$;

$\Delta u_д = 0$;

г) $\underset{i_д-i_д}{\Phi(s)} = k_д k_{пс}s(T_у s+1)(T_{см}s+1)(T_д s+1)(T_и s+1)[H_0(s)]^{-1}$;

$\Delta i_д = 0$.

2. При возмущении по напряжению сети:

а) $\underset{u_с-h_п}{\Phi(s)} = k_{тс}\{s(T_у s+1)(T_{см}s+1)[k_{дт}k_{гн}+k_{гт}(T_д s+1)]+$

$+k_у k_{см}k_д k_{гт}(T_д s+1)\}[H_0(s)]^{-1}$;

$\Delta h_п = k_{тс}k_{гт}\tilde{u}_с$;

б) $\underset{u_с-x_ш}{\Phi(s)} = k_{тс}s(T_у s+1)(T_{см}s+1)\{[k_{дт}(T_и s+1)+k_{дг}k_д k_{гт}(T_д s+1)]\times$

$\times k_{хн}+k_{хт}(T_д s+1)(T_и s+1-k_{дг}K_{гн})\}[H_0(s)(T_х s+1)]^{-1}+$

$+k_{тс}k_у k_{см}k_д k_{хт}(T_д s+1)(T_и s+1)[H_0(s)(T_х s+1)]^{-1}$;

$\Delta x_ш = k_{тс}k_{хт}\tilde{u}_с$.

в) $\underset{u_с-u_д}{\Phi(s)} = k_{тс}s(T_у s+1)(T_{см}s+1)[k_{дт}(T_и s+1)+$

$+k_{дг}k_д k_{гт}(T_д s+1)][H_0(s)]^{-1}$;

$\Delta u_д = 0$;

г) $\underset{u_с-i_д}{\Phi(s)} = k_{тс}(T_д s+1)[s(T_у s+1)(T_{см}s+1)(T_и s+1-k_{дг}K_{гн})+$

$+k_у k_{см}k_д(T_и s+1)][H_0(s)]^{-1}$;

$\Delta i_д = k_{тс}\tilde{u}_с$.

3. При возмущении по скорости сварки:

а) $\underset{v_{сс}-h_п}{\Phi(s)} = k_{гсс}\{s(T_у s+1)(T_{см}s+1)[(T_{пс}s+1)(T_д s+1)-k_{дт}k_{пс}]+$

$+k_у k_{см}k_д(T_д s+1)(T_{пс}s+1)\}[H_0(s)]^{-1};$

$\Delta h_п = k_{гсс}\tilde{v}_{сс};$

б) $\underset{v_{сс}-x_ш}{\Phi(s)} = k_{гсс}k_{дг}s(T_у s+1)(T_{см}s+1)(T_д s+1)\times$

$\times[K_{хн}(T_{пс}s+1)+K_{хт}][H_0(s)(T_х s+1)]^{-1}+k_{хсс}(T_х s+1)^{-1};$

$\Delta x_ш = k_{хсс}\tilde{v}_{сс};$

в) $\underset{v_{сс}-u_д}{\Phi(s)} = k_{гсс}k_{дг}k_д s(T_у s+1)(T_{см}s+1)(T_д s+1)(T_{пс}s+1)[H_0(s)]^{-1};$

$\Delta u_д = 0;$

г) $\underset{v_{сс}-i_д}{\Phi(s)} = k_{гсс}k_{дг}k_д k_{пс}s(T_у s+1)\times$

$\times(T_{см}s+1)(T_д s+1)[H_0(s)]^{-1};$

$\Delta i_д = 0.$

Характеристический полином И—А—Д—Ш с АРНД

$H_0(s) = s(T_у s+1)(T_{см}s+1)\{(T_и s+1)[(T_{пс}s+1)(T_д s+1)-k_{дт}k_{пс}]-$

$-k_{дг}(T_д s+1)[K_{гн}(T_{пс}s+1)+K_{гт}]\}+k_у k_{см}k_д(T_д s+1)(T_{пс}s+1)\times$

$\times(T_и s+1);$

$H_0(0) = k_у k_{см}k_д.$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПЕРЕДАЧИ И ПОСТОЯННЫХ ВРЕМЕНИ ЗВЕНЬЕВ СТРУКТУРНЫХ СХЕМ

Для расчета ошибок регулирования необходимы конкретные значения коэффициентов передачи и постоянных времени всех звеньев структурной схемы И—А—Д—Ш. Численные значения коэффициентов передачи и постоянных времени существенно зависят от характера технологического процесса сварки, условий формирования шва, режима сварки, свойств основного и присадочного металлов, типа защиты, диаметра и вылета электродной проволоки, угла заточки вольфрамового электрода, условий теплоотвода и других факторов, определяющих особенности данного технологического процесса. Поэтому численные значения коэффициентов передачи и постоянных времени необходимо определять в условиях, полностью идентичных реальному производственному процессу.

Коэффициенты передачи определяют по статическим характеристикам звеньев, постоянные времени — по специальным методикам.

Статические характеристики звеньев системы И—А—Д—Ш в большинстве случаев практически нелинейны. Поэтому коэффициент передачи звена находят, взяв производную от статической характеристики в точке, соответствующей номинальным значениям входного и выходного параметров звена. Статические характеристики получают на основе эксперимента. Методики проведения экспериментов и расчета коэффициентов передачи звеньев I, II, III, IV, VII, XIII и XIV (см. табл. 1) описаны в литературе [1, 2, 3, 5, 6, 7, 8].

Коэффициенты $k_{гн}$, $k_{гт}$, $k_{гсс}$, $k_{хн}$, $k_{хт}$ и $k_{хсс}$ (звенья V, VI, VIII, XV, XVI, XVII; табл. 1) определяют по статическим характеристикам, снятым в окрестности номинала каждого из входных сигналов этих звеньев: напряжения $U_{дн}$ дуги; тока $I_{дн}$ дуги или скорости $V_{ссн}$ сварки. Статическую характеристику звена строят по точкам при дискретном изменении варьируемого параметра: $U_д$, $I_д$ или $V_{сс}$. При этом два другие параметра в процессе эксперимента должны сохранять номинальные значения.

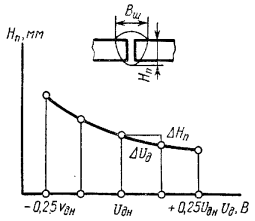


Рис. 4. Зависимость $H_п(U_д)$ для определения коэффициента передачи $k_{гн} = \dfrac{-\Delta H_п}{\Delta U_д}$, мм/В

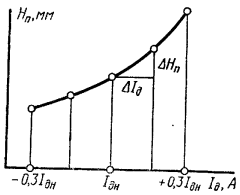


Рис. 5. Зависимость $H_п(I_д)$ для определения коэффициента передачи $k_{гт} = \dfrac{\Delta H_п}{\Delta I_д}$, мм/А

Диапазон изменения входного сигнала звена выбирают в пределах: $U_{дн} \pm 0{,}25U_{дн}$; $I_{дн} \pm 0{,}3I_{дн}$ и $V_{ссн} \pm 0{,}3V_{ссн}$. Весь диапазон делят на четыре равных отрезка и в условиях, полностью идентичных условиям производства реального изделия, производят сварку. Напряжение и ток дуги регистрируют астатическими приборами класса 0,5; скорость сварки — по секундомеру. Из сваренных швов вырезают темплеты и изготовляют поперечные шлифы. Шлифы измеряют с помощью бинокулярного микроскопа. По результатам эксперимента строят статические характеристики $H_п(U_д)$, $H_п(I_д)$ и $H_п(V_{сс})$, а по ним рассчитывают коэффициенты передачи $k_{гн}$, $k_{гт}$ и $k_{гсс}$ (рис. 4—6). Аналогично находят коэффициенты $k_{хн}$, $k_{хт}$ и $k_{хсс}$, если $x_ш$ — геометрический параметр шва, например ширина шва (см. рис. 4). Если $x_ш$ — содержание легирующего элемента в шве или наплавленном слое, то статические характеристики $X_ш(U_д)$, $X_ш(I_д)$ и $X_ш(V_{сс})$ строят по данным химанализа. Коэффициенты передачи звеньев $k_{св}$, $k_{сн}$ и $k_{ст}$ (звенья X, XI и XII; табл. 1) отображают свойство саморегулирования дуги при сварке плавящимся электродом. Их определяют по статическим характеристикам, представляющим собою зависимость скорости плавления электродной проволоки от длины вылета $V_э(L_в)$, напряжения дуги $V_э(U_д)$ или тока дуги $V_э(I_д)$. Эксперимент строится так же, как в предыдущем случае. Так как в установившемся режиме скорость плавления равна скорости подачи электродной проволоки, то измеряют скорость подачи, варьируя длину вылета, напряжение или ток дуги. При этом два других параметра оставляют неизменными. По статическим характеристикам определяют $k_{св}$, $k_{сн}$ и $k_{ст}$. При расчете ошибок регулирования МРДП, АРДС или АРНД каждый из коэффициентов передачи берут со своим знаком.

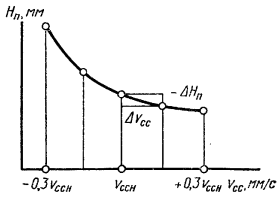


Рис. 6. Зависимость $H_п(V_{ссн})$ для определения коэффициента передачи $k_{гсс} = \dfrac{-\Delta H_п}{\Delta V_{сс}}$, с

Постоянные времени $T_{пс}$, T_1 и T_2 (табл. 1, звено III), $T_у$ (звено XIII) и $T_{см}$ (звено XIV) определяют по общепринятым методикам, известным из теории электрических машин и теории автоматического регулирования. Параметры $T_и$ (звенья V, VI и VIII), $T_э$ (звенья XI, XII) и $T_х$ (звенья XV, XVI и XVII) определяют по специальным методикам [2, 5]. При аргонодуговой сварке неплавящимся электродом постоянную времени $T_х$ приближенно можно определить по отклонению ширины шва. Для этого в процессе сварки на номинальном режиме дают скачок по току $\Delta I_д$ дуги. Величина скачка должна быть не менее $0{,}5I_{дн}$. Для получения скачка по току в сварочную цепь параллельно дуге включают балластное сопротивление [5]. Сфотографировав шов, измеряют отклонение ширины $\Delta B_ш$ шва, отсчитывают $0{,}63\,\Delta B_ш$ и, зная скорость сварки, находят $T_х$ (рис. 7). Так как все размеры зоны проплавления изменяются практически одновременно, то постоянную $T_и$ времени проплавления изделия по глубине провара можно принять равной $T_х$. Если $x_ш$ не геометрический параметр шва, а, например, содержание легирующего элемента в шве, то $T_х$ можно определить аналогично, построив кривую переходной характеристики $v_ш(t)$ по данным спектрального анализа.

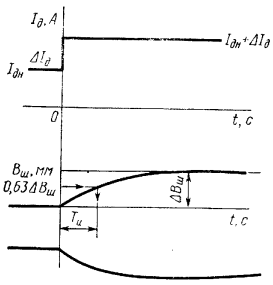


Рис. 7. Зависимость ширины шва $B_ш$ от тока дуги $I_д$

При расчете статических и установившихся динамических ошибок системы И—А—Д—Ш целесообразно заведомо упростить расчетные формулы. Это достигается, если в определенных случаях можно пренебречь значениями некоторых коэффициентов передачи и постоянных времени по сравнению с другими.

На практике, в большинстве случаев, сварку в аргоне и под флюсом производят на таких режимах, которым соответствует горизонтальный участок вольтамперной характеристики дуги (см. табл. 1, звено II). При этом в передаточных функциях и выражениях для статических ошибок МРДП, АРДС или АРНД можно положить $k_{дт} = 0$. При расчете статических и динамических ошибок АРДС во всех случаях, кроме линейного возмущения по длине дуги (см. табл. 2), можно положить $k_{св} = 0$. Кроме этого, почти всегда можно считать $T_д = 0$ и $T_э = 0$. Погрешность при расчете по упрощенным формулам, как правило, не превышает $\pm 0{,}2$ величины установившейся ошибки при действии на систему одного возмущения и $\pm 0{,}35$ при совместном действии нескольких возмущений.

ОЦЕНКА СТАТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СИСТЕМЫ И—А—Д—Ш. КОЭФФИЦИЕНТЫ КАЧЕСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ СВАРНОГО ШВА

Задача получения сварного соединения определенного качества в производственных условиях предполагает разработку технологического процесса и выбор оборудования для сварки конкретного изделия.

Основной, характерной особенностью дуговых автоматов, точнее системы И—А—Д—Ш, является наличие естественных обратных связей. В автоматах типа МРДП и АРДС естественная обратная связь является главной обратной связью (см. рис. 1,2) и, следовательно, полностью определяет качество регулирования. В АРНД она представляет собою местную обратную связь (см. рис. 3). Эффективность действия естественных обратных связей зависит от передаточных коэффициентов звеньев всех реальных органов системы И—А—Д—Ш и, в частности, от коэффициентов передачи технологических звеньев, отображающих

зависимость скорости плавления электродной проволоки и геометрических размеров шва от параметров режима сварки (см. табл. 1). В связи с этим, даже при использовании одного и того же автомата, качество регулирования параметров сварного шва, определяющих несущую способность и качество сварного соединения, при сварке или наплавке различных по составу металлов и сплавов может оказаться существенно различным. Таким образом, для того чтобы в реальных условиях обеспечить заданное качество сварных соединений, необходимо не только разработать технологический процесс, выбрать номинальный режим сварки и оборудование, но и оценить качество регулирования системы И—А—Д—Ш при воздействии возмущений, характерных для данного конкретного случая. Эту задачу можно решить, применив определенные критерии качества регулирования.

В основу выбора критерия оценки свойств системы И—А—Д—Ш должна быть положена практическая целесообразность и научная объективность показателя качества регулирования. Критерий качества регулирования должен давать сварщикам непосредственное представление о том, с какой точностью система регулирования способна поддерживать регламентируемые параметры шва при воздействии возмущений. Это обусловлено тем, что в технической документации на сварные конструкции регламентируются непосредственно отклонения параметров сварного шва.

Оценку свойств системы И—А—Д—Ш по значениям ошибок по току и напряжению дуги нельзя признать состоятельной потому, что значения этих ошибок не дают сварщикам объективного представления о качестве регулирования по шву. Это объясняется, во-первых, различной проплавляющей способностью дуги при сварке различных металлов и сплавов, а, во-вторых, тем, что при воздействии одних возмущений ошибки по току и напряжению дуги складываются, других — вычитаются, в связи с чем при одних и тех же абсолютных значениях этих ошибок отклонения параметров шва будут существенно различны.

Критерий качества регулирования должен отображать не только количественную связь между возмущением и отклонением изучаемого параметра шва, а и влияние каждого из реальных органов замкнутой системы И—А—Д—Ш на величину ошибки. Только при этом можно составить конкретное представление о путях и методах улучшения качества регулирования.

В реальных условиях система И—А—Д—Ш подвержена воздействию различных по величине возмущений. При этом возникают и различные ошибки регулирования. Абсолютное значение ошибок регулирования по шву не дает объективного представления о свойствах системы. Для того чтобы получить объективный критерий, целесообразно сопоставлять относительные величины возмущений и ошибок.

При заданном характере входного воздействия (возмущения) ошибки по шву будут определяться свойствами системы И—А—Д—Ш. В теории автоматического регулирования свойства различных систем характеризуют значениями установившихся ошибок (статических и динамических), а также параметрами переходной характеристики (перерегулированием, длительностью переходного процесса, колебательностью).

При оценке свойств дуговых автоматов за основу (в первом приближении) можно принять статические ошибки системы И—А—Д—Ш. Это определяется тем, что в соответствии с ГОСТ 8713—70 и производственными нормалями регламентируемые отклонения параметров шва правомерны, как правило, на всей длине шва и, следовательно, при скачкообразных возмущениях, по смыслу представляют собою допустимые статические ошибки системы.

Критерии, полученные на базе статических ошибок системы, не могут претендовать на исчерпывающее отображение свойств динамической системы (впрочем так же, как любые другие критерии, применяемые в теории регулирования), но в то же время они характеризуют статические свойства И—А—Д—Ш. Такие критерии называют коэффициентами качества регулирования системы И—А—Д—Ш.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ, ФИЗИЧЕСКИЙ СМЫСЛ И РАЗМЕРНОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТОВ КАЧЕСТВА

Определение. Коэффициент качества регулирования системы И—А—Д—Ш есть отношение отклонения параметра сварного шва к вызвавшему его возмущению, составленное в относительных единицах. Согласно этому определению коэффициент качества для любого параметра сварного шва и любого из возмущений

$$\varkappa_{zy} = \frac{\Delta y/Y}{\tilde{z}/Z}, \qquad (1)$$

где Δy — статическая ошибка любого параметра шва в абсолютных единицах; Y — значение изучаемого параметра шва в номинальном режиме; $\tilde{z}$ — величина возмущения (скачок) в абсолютных единицах; Z — номинальное значение возмущающего параметра. Например, коэффициент качества регулирования глубины провара при возмущении по напряжению сети

$$\varkappa_{\text{гс}} = \frac{\Delta h_{\text{п}}/H_{\text{пн}}}{\tilde{u}_{\text{с}}/U_{20}}, \qquad (2)$$

где $\Delta h_{\text{п}}$ — статическая ошибка по глубине провара при возмущении по напряжению сети $\tilde{u}_{\text{с}}$ на вторичной стороне сварочного трансформатора (выпрямителя), мм; $H_{\text{пн}}$ — глубина провара в номинальном режиме, мм; U_{20} — напряжение холостого хода сварочного трансформатора (выпрямителя), В.

Физический смысл. Выразив из уравнения (1) относительную величину ошибки в явном виде, получим

$$\Delta y/Y = \varkappa_{zy}\tilde{z}/Z. \qquad (3)$$

Выражение (3) дает представление о физическом смысле коэффициента качества. Коэффициент качества — число, показывающее, во сколько раз относительная величина статической ошибки изучаемого параметра сварного шва больше (меньше) относительной величины вызвавшего ее возмущения. Например, если $\varkappa_{\text{гс}} = 1$, то это означает, что при увеличении напряжения сети на 10%, глубина провара возрастет также на 10%. Из (3) очевидно, что чем больше абсолютная величина коэффициента качества, тем больше ошибка системы, т. е. тем хуже качество регулирования. Чем меньше $\varkappa$, тем лучше качество регулирования, тем точнее поддерживает система заданные номинальные значения параметров сварного шва. В соответствии с этим для астатических режимов $\varkappa_{zy} = 0$.

Размерность и знак. Из уравнения (3) очевидно, что коэффициент качества представляет собою безразмерное число. Коэффициент качества может иметь как положительный, так и отрицательный знак. В каждом конкретном случае его знак определяется знаком статической ошибки системы И—А—Д—Ш при единичном возмущении.

Расчетные выражения. Выразив статическую ошибку системы через передаточную функцию по возмущению, получим

$$\varkappa_{zy} = \frac{\Delta y/Y}{\tilde{z}/Z} = \frac{\underset{z-y}{\Phi}(0)\,\tilde{z}}{Y}\cdot\frac{Z}{\tilde{z}} = \underset{z-y}{\Phi}(0)\frac{Z}{Y}, \qquad (4)$$

где $\underset{z-y}{\Phi}(0)$ — статическая ошибка системы при единичном возмущении.

Например, расчетное выражение коэффициента качества регулирования глубины провара при возмущении по напряжению сети для МРДП

$$\varkappa_{\text{гс}} = \underset{z-y}{\Phi}(0)\frac{Z}{Y} = \frac{k_{\text{тс}}\,[k_{\text{дт}}k_{\text{гн}} + k_{\text{гт}}]}{H_{\text{у}}(0)}\cdot\frac{U_{20}}{H_{\text{пн}}} = \frac{k_{\text{тс}}\,[k_{\text{дт}}k_{\text{гн}} + k_{\text{гт}}]}{1 - k_{\text{дт}}k_{\text{пс}} - k_{\text{дг}}K_{\text{г}}}\cdot\frac{U_{20}}{H_{\text{пн}}}.$$

Расчетное выражение коэффициента качества регулирования глубины провара при возмущении по скорости подачи электродной проволоки для АРДС

$$\varkappa_{\text{гп}} = \underset{z-y}{\Phi}(0)\frac{Z}{Y} = \frac{K_{\text{г}}}{H(0)}\cdot\frac{V_{\text{пн}}}{H_{\text{пн}}} = \frac{k_{\text{д}}\,(k_{\text{гн}} + k_{\text{пс}}k_{\text{гт}})}{k_{\text{св}}\,(1 - k_{\text{дт}}k_{\text{пс}} - k_{\text{дг}}K_{\text{г}}) - K_{\text{с}}}\cdot\frac{V_{\text{пн}}}{H_{\text{пн}}}.$$

Расчетное выражение коэффициента качества регулирования глубины провара при возмущении по скорости сварки для АРНД

$$\varkappa_{\text{гсс}} = \underset{z-y}{\Phi}(0)\frac{Z}{Y} = k_{\text{гсс}}\frac{V_{\text{ссн}}}{H_{\text{пн}}}.$$

Аналогично могут быть получены расчетные выражения коэффициентов качества для любого другого параметра сварного шва. Для этого используют выражения статических ошибок для икс-параметра шва.

Приведенные выше расчетные выражения коэффициентов качества МРДП, АРДС и АРНД относятся к процессу сварки. Соответствующие выражения при наплавке будут иметь иной вид, учитывающий технологические особенности этого процесса. Наплавку, как правило, производят в четыре-пять слоев. В процессе наплавки очередного слоя предыдущий проплавляется на определенную глубину. В сварочной ванне наплавленный и проплавленный металл перемешиваются и состав их осредняется. Последнее необходимо учитывать при расчете ошибок концентрации легирующих элементов в шве, обусловленных влиянием возмущений. В соответствии с этим действительная ошибка в концентрации любого из легирующих элементов в последнем (завершающем) слое

$$\Delta\,[\text{Me}] = k_F\Delta\,[\text{Me}]_0, \qquad (5)$$

где k_F — коэффициент перемешивания; при наплавке под керамическим флюсом $k_F \approx 0{,}6$; $\Delta\,[\text{Me}]_0$ — статическая ошибка в концентрации любого из легирующих элементов, рассчитанная без учета перемешивания.

Выражение (5) справедливо для последнего (завершающего) слоя наплавки, т. е. при том условии, что в предыдущем слое концентрация легирующих элементов достаточно близка к номинальной, что обычно и имеет место [3].

Таким образом, расчетное выражение коэффициента качества И—А—Д—Ш с АРДС при наплавке

$$\varkappa_{zy} = \frac{\Delta y/Y}{\tilde{z}/Z} = \frac{\Delta\,[\text{Me}]/\Delta\,[\text{Me}]_0}{\tilde{z}/Z} = \frac{k_F\Delta\,[\text{Me}]_0}{[\text{Me}]_{\text{н}}}\cdot\frac{Z}{\tilde{z}} = \frac{k_F\underset{z-x_{\text{ш}}}{\Phi}(0)\,\tilde{z}}{[\text{Me}]_{\text{н}}}\cdot\frac{Z}{\tilde{z}} = k_F\underset{z-x_{\text{ш}}}{\Phi}(0)\frac{Z}{[\text{Me}]_{\text{н}}}, \qquad (6)$$

где $\underset{z-x_{\text{ш}}}{\Phi}(0)$ — статическая ошибка АРДС при единичной величине данного возмущения по икс-параметру шва; $[\text{Me}]_{\text{н}}$ — номинальная концентрация легирующего элемента.

Коэффициенты качества представляют собою нелинейные функции параметров системы И—А—Д—Ш; поэтому конкретное значение коэффициента качества регулирования определенного параметра сварного шва для каждого из возмущений может иметь различные значения. В общем, для всех рассмотренных

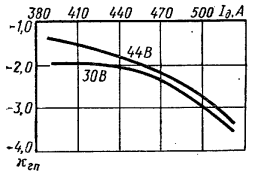


Рис. 8. Коэффициент $\varkappa_{гп}$ качества регулирования глубины провара при возмущении по скорости подачи электродной проволоки. Система АРДС. Сварка сплава АМЦ по флюсу АН-А1. Электродная проволока ∅ 2,85 мм. Скорость сварки 15 м/ч

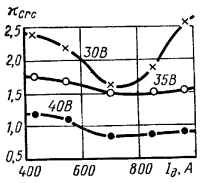


Рис. 9. Коэффициент $\varkappa_{Cr\,c}$ качества регулирования хрома в наплавленном металле при возмущении по напряжению сети. Система АРДС. Наплавка под керамическим флюсом ЖС-450. Электродная проволока ∅ 5 мм. Скорость наплавки 26 м/ч

систем регулирования (МРДП, АРДС, АРНД), для определенного диапазона технологических режимов при сварке неплавящимся электродом в аргоне, а также при сварке и наплавке плавящимся электродом под флюсом конкретные значения различных коэффициентов качества находятся в пределах $+3{,}0 \div -3{,}0$ (рис. 8—10).

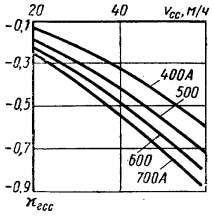


Рис. 10. Коэффициент $\varkappa_{гсс}$ качества регулирования глубины провара при возмущении по скорости сварки. Система АРДС. Сварка стали 20 под флюсом ОСЦ-45. Электродная проволока ∅ 2 мм. Скорость сварки 40 м/ч; $U_{дн} =$ = 40 В

Перед технологом в производственных условиях ставится задача обеспечить требуемую производительность и заданное качество сварного соединения. Технолог должен выбрать технологический процесс и оборудование, на котором производят сварку или наплавку изделия. Каким бы ни было это оборудование, оно комплектуется в установку, образующую замкнутую систему источник питания—автомат — дуга — шов. Это обязывает технолога при оценке качества регулирования учитывать все реальные возмущения. Для того чтобы обеспечить заданное качество сварного соединения, технолог должен оценить статические свойства системы не по одному коэффициенту качества, соответствующему определенному возмущению, а по сумме их, характеризующей одновременное воздействие всех реально-возможных возмущений.

В реальных условиях каждое из возмущений может иметь свой собственный знак, отличный от знаков других возмущений. Коэффициенты качества регулирования также имеют различные знаки. Это означает, что при одинаковых знаках возмущений ошибка от одного возмущения может быть частично скомпенсирована ошибкой от другого. При этом суммарная ошибка по шву окажется меньше той, которую может гарантировать система при неблагоприятном сочетании знаков возмущений. Последнее означает, что обеспечить заданное качество сварного соединения, т. е. гарантировать то, что суммарная ошибка Δy_Σ по регламентируемому параметру сварного шва не превысит допустимую, можно только в том случае, если учесть одновременное воздействие всех характерных возмущений при наиболее неблагоприятной комбинации их знаков. Для этого при расчете следует выбрать знаки всех возмущений так, чтобы отклонения регламентируемого параметра шва от каждого отдельного возмущения дополняли друг друга, или считать все коэффициенты качества и все возмущения положительными. Для того чтобы учесть это, целесообразно оценивать статические свойства системы И—А—Д—Ш по суммарному коэффициенту $\varkappa_{y\Sigma}$ качества. В общем случае суммарный коэффициент качества регулирования для любого параметра сварного шва

$$\varkappa_{y\Sigma} = |\varkappa_{yд}| + |\varkappa_{yс}| + |\varkappa_{yп}| + |\varkappa_{y\,сс}|.$$

В реальных условиях относительные величины возмущений обычно различны, поэтому суммарная ошибка системы в относительных единицах

$$\Delta y_\Sigma = |\varkappa_{yд}| \cdot |\tilde{l}_д| + |\varkappa_{yс}| \cdot |\tilde{u}_с| + |\varkappa_{yп}| \cdot |\tilde{v}_п| + |\varkappa_{y\,сс}| \cdot |\tilde{v}_{сс}|. \quad (7)$$

Прикладное значение коэффициентов качества заключается в том, что, применяя их, можно решить ряд практических задач, дать ответ на которые без количественной оценки качества регулирования не представляется возможным. При комплектации оборудования установок для механизированной дуговой сварки технолог должен решить пять основных задач.

Задача I. Оценка качества регулирования. Решение задачи сводится к сопоставлению реальной суммарной ошибки системы Δy_Σ (7) с допустимым по техническим условиям отклонением Δy_0 определенного параметра сварного шва. При $\Delta y_\Sigma \leqslant \Delta y_0$ качество регулирования по шву обеспечивается.

Задача II. Определение возмущающих воздействий, стабилизация которых наиболее эффективна с целью обеспечения заданного качества сварного шва. Решение сводится к сопоставлению коэффициентов $\varkappa_{zy}$ качества данной системы (МРДП, АРДС, АРНД) для отдельных возмущений. Очевидно, что целесообразно стабилизировать те возмущения, для которых $\varkappa_{zy}$ имеют наибольшие значения.

Задача III. Выбор оптимальных режимов. Располагая несколькими значениями или графиками коэффициентов качества, можно выбрать режим, для которого $\varkappa_{zy}$, $\varkappa_{y\Sigma}$ или Δy_Σ имеют минимальные значения. Такой режим является оптимальным по качеству регулирования (рис. 9).

Задача IV. Учет взаимной компенсации ошибок регулирования. В определенных частных случаях каждое из возмущений может иметь только один определенный знак. При этом ошибки регулирования системы складываются алгебраически, частично компенсируя друг друга. Скомпенсированная ошибка системы

$$\Delta y = \varkappa_{yд}\tilde{l}_д + \varkappa_{yс}\tilde{u}_а + \varkappa_{yп}\tilde{v}_п + \varkappa_{y\,сс}\tilde{v}_{сс},$$

где коэффициенты качества и возмущения берутся с присущими им знаками.

Задача V. Выбор системы регулирования дуги, обеспечивающей заданное качество регулирования регламентируемых параметров сварного шва. Решение задачи сводится к сопоставлению значений суммарных ошибок Δy_Σ(7) анализируемых систем (МРДП, АРНД). Очевидно, что тот автомат обеспечит лучшее качество регулирования, у которого Δy_Σ имеет наименьшее значение для заданных конкретных производственных условий.

Выбор оптимальной системы И—А—Д—Ш при доминирующих возмущениях. В определенных условиях система практически подвергается воздействию лишь одного (доминирующего) возмущения. При этом возможен выбор такого сочетания «источник—автомат», при котором ошибка от доминирующего возмущения будет сведена к нулю. С целью определения оптимального сочетания «источник—автомат» по расчетным выражениям коэффициентов качества строились зависимости ошибки $\Delta h_п$ по глубине провара от коэффициента $k_{пс}$ питающей системы.

При этом рассматривали еще одно возмущение, возмущение по зазору в стыке или скрытой составляющей длины $\tilde{l}_{дс}$ дуги.

Анализ зависимостей $\Delta h_п$ ($k_{пс}$) показал, что оптимальной системой при доминирующем возмущении по зазору ($\tilde{l}_{дс}$) является МРДП в сочетании с источником, имеющим «жесткую» ВАХ, в то же время при доминирующем возмущении по внешней составляющей дуги $l_{дв}$ МРДП оптимально с источником, имеющим «штыковую» ВАХ; системы АРДС и АРНД оптимальны при доминирующем возмущении по длине дуги $l_д$ независимо от формы ВАХ источника; возмущения по зазору этими системами не отрабатываются ни при какой форме ВАХ источника.

Анализ статических свойств универсальных дуговых автоматов (МРДП, АРДС, АРНД) по коэффициентам качества приводит к следующим общим выводам: статические свойства МРДП, АРДС и АРНД при одних и тех же возмущениях существенно различны; один и тот же автомат обеспечивает различное качество регулирования в зависимости от характера технологического процесса и даже режима сварки; ни одна из систем регулирования дуги не обладает явным преимуществом по сравнению с другими; вопрос о целесообразности применения той или иной системы регулирования решается однозначно только в результате расчета качества регулирования в соответствии с конкретными производственными условиями.

МЕТОДИКИ РАСЧЕТА И ВЫБОРА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ДУГОВЫХ АВТОМАТОВ ТИПА МРДП, АРДС И АРНД

Общие положения. 1. Достоверный результат применительно к обеспечению заданного в ТУ допустимого отклонения регламентируемого параметра сварного шва при разработке установки для автоматической дуговой сварки, комплектуемой автоматами типа МРДП, АРДС или АРНД, можно получить лишь в том случае, если при проектировании выбрать основные параметры системы так, чтобы обеспечить оптимальную точность стабилизации характерных возмущений.

Для реализации этого технические условия на разработку конкретного автомата, кроме обычных данных, обусловленных технологическими особенностями процесса сварки и конструкцией изделия, должны содержать значения допустимых отклонений регламентируемых параметров шва ($\Delta h_{по}$, $\Delta x_{шо}$), а также передаточных коэффициентов и постоянных времени звеньев определенной структурной схемы И—А—Д—Ш.

2. В швах сварной конструкции, как правило, возникают рабочие напряжения. Чтобы исключить возможность непровара, в ТУ на сварную конструкцию наиболее жестко регламентируется допустимое отклонение $\Delta h_{п0}$ глубины провара $H_п$ (см. рис. 4). В связи с этим в дальнейшем во всех случаях, в качестве основного регламентируемого параметра вводится $\Delta h_{п0}$. Последнее не является ограничением применения изложенных ниже методик проектирования МРДП, АРДС и АРНД, так как в тех случаях, когда наиболее жестко регламентируется какой-либо другой параметр шва, необходимые расчетные выражения могут быть получены по передаточным функциям МРДП, АРДС или АРНД для икс-параметра.

3. Анализ возмущений показывает, что для длины дуги характерным является стохастическое возмущение (см. табл. 2) Однако введение такого возмущения приводит к сложным выражениям, мало пригодным для практических расчетов. Детальный анализ показал, что стохастическое возмущение в первом приближении может быть учтено соответствующим гармоническим возмущением по длине дуги $\tilde{l}_{дг} = l_{гт} \sin \omega t$ Параметры гармонического возмущения выбираются следующим образом:

1) частота $\omega = \frac{\sqrt{2}}{T_и}$, где $T_и$ — постоянная времени проплавления изделия;

2) амплитуда $l_{гт} = \frac{\sqrt{D_и}}{k_д}$, где $D_и$ — дисперсия, полученная по осциллограмме напряжения дуги, снятой в процессе сварки. Для сварки неплавящимся электродом в аргоне можно принять $l_{гт} = 0{,}3 \div 0{,}4$ мм. Для сварки плавящимся электродом под флюсом $l_{гт} = 0{,}5 \div 0{,}7$ мм.

Введение гармонического возмущения позволило получить все основные зависимости в явном виде, что существенно облегчает конструктору выбор соответствующих параметров системы.

Кроме гармонического для длины дуги учтено также и линейное возмущение длины $\tilde{l}_{дv} = v_{сс} \operatorname{tg} \alpha t$ дуги (α — угол непараллельности между сварочной горелкой и изделием).

4. В процессе сварки на систему источник—автомат—дуга—шов действуют различные возмущения. Для того чтобы гарантировать заданное качество регулирования по шву, конструктор обязан учитывать возможность одновременного действия всех характерных возмущений при наиболее неблагоприятной комбинации их знаков.

В соответствии с этим для всех систем регулирования (МРДП, АРДС и АРНД) расчетные выражения для определения оптимальной точности стабилизации системы получены в результате сопоставления суммарной ошибки системы от всех реально-возможных возмущений с допустимой по ТУ величиной отклонения регламентированного параметра сварного шва

Например, для АРДС (наиболее общий случай) допустимое по ТУ отклонение глубины провара

$$\Delta h_{п0} = \Delta h_{пl} + \Delta h_{пv_п} + \Delta h_{пu_с} + \Delta h_{пv_{сс}} + \Delta h_{пh}, \qquad (8)$$

где $\Delta h_{пl}$ — ошибка по глубине провара от всех возмущений по длине дуги; $\Delta h_{пv_п}$ — ошибка от возмущения по скорости подачи электродной проволоки; $\Delta h_{пu_с}$ — ошибка от возмущения по напряжению сети; $\Delta h_{пv_{сс}}$ — ошибка от возмущения по скорости сварки; $\Delta h_{пh}$ — ошибка от изменения зазора в стыке.

Из анализа статических ошибок АРНД и АРДС следует, что ошибка от изменения зазора стыка $\Delta h_{пh}$ не отрабатывается этими системами. Значит, $\Delta h_{пh} = \tilde{h}_п$, т. е. равна изменению глубины провара, обусловленному опусканием (поднятием) ванны при увеличении (уменьшении) зазора стыка. Величину $\tilde{h}_п$ определяют экспериментально по поперечному шлифу шва, сваренного с переменным зазором.

Система МРДП при питании дуги от источника с жесткой характеристикой ($k_{пс} = \infty$) отрабатывает изменение глубины провара $h_п$ [10]. Однако серийные сварочные источники, как правило, не обладают $k_{пс} = \infty$, поэтому можно считать, что обычно и для МРДП $\Delta h_{пh} \approx \tilde{h}_п$. Учтя это и положив, что на практике все возмущения автономны и равновероятны, получим величину допустимого отклонения регламентированного параметра шва, приходящуюся на одно возмущение. Например, для АРДС в соответствии с (8)

$$\Delta h_{пz} = \frac{1}{4}(\Delta h_{п0} - \tilde{h}_п), \qquad (9)$$

где z — одно из характерных возмущений.

5. Все расчетные выражения для определения параметров МРДП, АРДС и АРНД, приводимые ниже, получены из передаточных функций и статических ошибок этих систем.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МРДП

Задачи расчета. Система И—А—Д—Ш с МРДП (см. рис. 1) состоит из трех автономных органов: источника ИП питания дуги, механического регулятора МРДП дугового промежутка и механизма МПИ перемещения изделия (или механизма

перемещения горелки МПГ). В соответствии с этим задача проектирования установки с МРДП заключается в том, чтобы исходя из допустимого отклонения регламентированного параметра шва рассчитать необходимую точность стабилизации длины $\Delta l_{д0}$ дуги, напряжения $\Delta u_{с0}$ сети и скорости $\Delta v_{сс0}$ сварки, а по ним выбрать основные параметры МРДП, источника питания и привода МПИ (МПГ) таким образом, чтобы в реальных условиях, несмотря на наличие возмущающих факторов, обеспечить заданное техническими условиями качество сварного соединения.

Основные этапы расчета. *Этап I. Расчет оптимальной точности стабилизации длины $\Delta l_{д0}$ дуги.* При расчете $\Delta l_{д0}$ должен быть известен источник питания дуги, которым комплектуется автомат, и в соответствии с режимом сварки определен его $k_{пс}$. Кроме этого, должен быть задан угол α непараллельности между направляющей сварочной головки и поверхностью изделия. При этом

$$\Delta l_{д0} = \frac{1/3\,(\Delta h_{п0} - \tilde{h}_п)\,(1 - k_{дг}K_г)}{K_г} - \operatorname{tg}\alpha\left[L - \frac{V_{ссн}T_и}{1 - k_{дг}K_г}(1 - e^{-\beta t})\right] - \frac{(1 - k_{дг}K_г)\,l_{гп}}{\sqrt{(1 - k_{дг}K_г)^2 + \omega^2 T_и^2}}, \quad (10)$$

где $L = V_{ссн}t$ — длина шва, мм; $V_{ссн}$ — скорость сварки, мм·с$^{-1}$; t — время сварки шва, с; $\beta = \frac{1 - k_{дг}K_г}{T_и}$. Другие коэффициенты и постоянная времени $T_и$ приведены в табл. 1.

В соответствии с $\Delta l_{д0}$ разрабатывают конструкцию сварочной головки и опорного копира, определяют точность изготовления и сборки деталей.

Этап II. Определение оптимальной величины угла α_0 непараллельности. В тех случаях, когда конструктору целесообразнее (проще) задать допустимое отклонение длины $\Delta l_{д0}$ дуги, а не $\operatorname{tg}\alpha_0$, в соответствии с (10) рассчитывают $\operatorname{tg}\alpha_0$ и определяют α_0:

$$\operatorname{tg}\alpha_э = \frac{1}{A}\left[\frac{1/3\,(\Delta h_{п0} - \tilde{h}_п)\,(1 - k_{дг}K_г)}{K_г} - \Delta l_{д0} - \frac{(1 - k_{дг}K_г)\,l_{гп}}{\sqrt{(1 - k_{дг}K_г)^2 + \omega^2 T_и^2}}\right], \quad (11)$$

где $A = L - \frac{V_{ссн}T_и}{1 - k_{дг}K_г}(1 - e^{-\beta t})$.

В соответствии с α_0 разрабатывают конструкцию направляющих сварочной головки, определяют характер посадок, точность изготовления и сборки станины автомата.

Этап III. Расчет оптимальной точности стабилизации напряжения $\Delta u_{с0}$ сети. Выбор источника. В соответствии с технологией выбирают источник постоянного или переменного тока с определенным диапазоном регулирования и напряжением холостого хода. В то же время его параметры ($k_{пс}$, $k_{тс}$) существенно влияют на качество регулирования. Расчетные выражения для $\Delta l_{д0}$ и $\operatorname{tg}\alpha_0$ учитывают свойства источника, однако предварительный выбор его еще не гарантирует заданного качества регулирования при возмущении по напряжению сети. Для правильного выбора источника нужно рассчитать оптимальную точность стабилизации напряжения сети (в %)

$$\Delta u_{с0} = \frac{1/3\,(\Delta h_{п0} - \tilde{h}_п)\,[1 - k_{дг}k_д\,(k_{гн} + k_{пс}k_{гт})]\,H_{пн}}{k_{тс}k_{гт}U_{20}}, \quad (12)$$

где $H_{пн}$ — номинальная глубина провара, мм; U_{20} — номинальное напряжение холостого хода источника питания дуги, В; $\Delta h_{п0} - \tilde{h}_п$, %.

В соответствии с величиной $\Delta u_{с0}$ окончательно выбирают тип источника питания дуги.

Этап IV. Расчет оптимальной точности стабилизации скорости $\Delta v_{сс0}$ сварки и коэффициента f_0 жесткости механической характеристики привода. Одной из непосредственных задач при разработке МРДП является выбор привода МПИ механизма перемещения изделия или привода МПГ механизма головки. Двигатель привода МПИ (МПГ) выбирают по мощности. Однако такой подход еще не гарантирует заданного качества регулирования по шву. Последнее объясняется тем, что изменение скорости сварки, кроме возмущения по моменту на валу двигателя, обусловлено жесткостью механической характеристики привода МПИ (МПГ), которая существенно зависит как от схемы питания двигателя (постоянное напряжение, пульсирующее напряжение), так и от способа регулирования скорости двигателя:

$$\Delta v_{сс0} = \frac{1/3\,(\Delta h_{п0} - \tilde{h}_п)\,[1 - k_{дг}k_д\,(k_{гн} + k_{пс}k_{гт})]\,H_{пн}}{k_{гсс}V_{ссн}}, \quad (13)$$

где $H_{пн}$ — номинальная глубина провара, мм; $V_{ссн}$ — номинальная скорость сварки, мм/с; Δv и $\Delta h_{п0} - \tilde{h}_п$, %.

В реальных производственных условиях возмущения по скорости сварки неизбежны. Коэффициент жесткости механической характеристики привода МПИ (МПГ), при которой, несмотря на возмущения по скорости (моменту), отклонения глубины провара не будут превышать допустимого значения,

$$f_0 = \frac{k_{гсс}\pi D\,\Delta\tilde{M}}{1/3\,(\Delta h_{п0} - \tilde{h}_п)\,\eta i^2 \cdot 60\,[1 - k_{дг}k_д\,(k_{гн} + k_{пс}k_{гт})]}, \quad (14)$$

где D — диаметр ведущей шестерни или катка, мм; $\Delta\tilde{M}$ — отклонение момента на валу двигателя, соответствующее возмущению по скорости сварки, гс·см; η — КПД механической передачи; i — передаточное число редуктора; $\Delta h_{п0} - \tilde{h}_п$ — установленное по ТУ допустимое отклонение глубины провара, мм; f_0, гс·см/(об/мин).

В определенных автоматах в качестве привода применяют двигатель постоянного тока с независимым возбуждением. При этом обмотка возбуждения и якорь двигателя питаются от выпрямителей.

Механическая характеристика такого вентильного микропривода при моментах на валу меньше $M_н$ будет иметь жесткость, значительно меньшую, чем естественная характеристика. Стремление уменьшить отклонения скорости сварки путем использования привода большей мощности может дать обратный результат. Перегрузка двигателя по моменту может привести к быстрому выходу его из строя. Расчет допустимой жесткости позволяет однозначно решить этот вопрос. В соответствии со значением f_0 окончательно выбирают тип двигателя, схему питания и способ регулирования скорости привода перемещения изделия или головки.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ АРДС

Задачи расчета. Система И—А—Д—Ш с АРДС (см. рис. 2) состоит из трех автономных органов: источника ИП питания дуги, механизма МПЭП подачи электродной проволоки и механизма МПИ перемещения изделия (или головки МПГ). В соответствии с этим задача проектирования установки с АРДС заключается в том, чтобы исходя из допустимого отклонения регламентированного параметра шва рассчитать необходимую точность стабилизации длины $\Delta l_{д0}$ дуги, скорости $\Delta v_{п0}$ подачи электродной проволоки, напряжения $\Delta u_{с0}$ сети и скорости $\Delta v_{сс0}$ сварки, а по ним выбрать основные параметры установки, источника питания и приводов МПЭП и МПИ таким образом, чтобы в реальных условиях, несмотря на наличие возмущающих факторов, обеспечить заданное техническими условиями качество сварного соединения.

Основные этапы расчета. *Этап I. Расчет оптимальной точности стабилизации длины $\Delta l_{д0}$ дуги.* При реально-возможных скачкообразных возмущениях по длине дуги во всех случаях, когда можно считать $k_{св} = 0$, АРДС астатична по отношению к этому воздействию (см. стр. 21). С учетом этого определение собственно $\Delta l_{д0}$ из выражения статической ошибки АРДС лишено практического смысла.

Стохастическое возмущение по длине дуги неизбежно и от конструктивных параметров сварочной установки не зависит. В соответствии с этим определение оптимальной точности стабилизации длины дуги для АРДС, по существу, сводится к расчету оптимальной точности непараллельности между направляющими сварочной головки и станиной установки. На этом этапе расчета источник должен быть задан, т. е. выбран предварительно в соответствии с характером технологического процесса.

В первом приближении

$$\operatorname{tg}\alpha_0 = \frac{T_и p_1 p_2}{K_г k_{св} L}\left[1/4\,(\Delta h_{п0} - \tilde{h}_п) - \Delta h_{гm}\right], \qquad (15)$$

где $\Delta h_{гm} = \dfrac{\omega K_г l_{гm}}{\sqrt{(T_и\omega^2 + K_с)^2 + \omega^2 (1 - k_{дг}K_г - T_и K_с)^2}}$;

p_1 и p_2 — корни характеристического полинома:

$$T_и s^2 + (1 + k_{св}T_и - k_{дг}K_г - T_и K_с)\,s + k_{св} - k_{дг}k_{св}K_г - K_с = 0.$$

Здесь $K_с = k_д\,(k_{сн} + k_{пс}k_{ст})$, причем $k_д$ [В·см$^{-1}$].

В соответствии с величиной $\operatorname{tg}\alpha_0$ разрабатывают несущую конструкцию установки с АРДС, определяют характер посадок, а также точность изготовления и сборки деталей МПИ или МПГ, выбирают тип приспособления для закрепления заготовок при сварке.

Этап II. Расчет оптимальной точности стабилизации скорости $\Delta v_{п0}$ подачи электродной проволоки и соответствующей жесткости f_0 механической характеристики привода МПЭП. Одной из основных задач при разработке АРДС является выбор привода МПЭП механизма подачи электродной проволоки. Привод МПЭП выбирают по мощности. Однако такой подход еще не гарантирует заданного качества регулирования по шву, так как изменение скорости подачи электродной проволоки кроме возмущения по моменту на валу привода обусловлено жесткостью его механической характеристики, которая зависит от типа привода, схемы питания (постоянное или пульсирующее напряжение) и способа регулирования скорости подачи.

В производственных условиях возмущения по скорости подачи электродной проволоки неизбежны (см. табл 2), а для шланговых полуавтоматов наиболее характерны

$$\Delta v_{п0} = \frac{1/4\,(\Delta h_{п0} - \tilde{h}_п)}{\varkappa_{гп}}, \qquad (16)$$

где $\varkappa_{гп} = -\dfrac{(k_{гн} + k_{пс}k_{гт})\,V_{пн}10^{-1}}{(k_{сн} + k_{пс}k_{ст})\,H_{пн}}$,

$H_{пн}$ — номинальная глубина провара; $V_{пн}$ — номинальная скорость подачи проволоки; $\Delta v_{п0}$ и $\Delta h_{п0} - \tilde{h}_п$, %

Коэффициент жесткости механической характеристики привода, при которой, несмотря на возмущения по моменту, отклонения глубины провара не превысят допустимого значения $\left(\frac{\text{гс·см}}{\text{об/мин}}\right)$,

$$f_0 = \frac{\varkappa_{гп} r F \tilde{m}}{\eta i 1/4\,(\Delta h_{п0} - \tilde{h}_п)\,n_{дв}}, \qquad (17)$$

где $\tilde{m}$ — относительная величина возмущения статического момента механизма подачи; r — радиус ведущего ролика механизма подачи, см; F — усилие подачи, гс; $\varkappa_{гп}$ — коэффициент качества АРДС; η — КПД механической передачи; $1/4\,(\Delta h_{п0} - \tilde{h}_п)$ — необходимая точность регулирования глубины провара в относительных единицах; $n_{дв}$ — частота вращения вала двигателя, об/мин; i — передаточное число редуктора

Этап III. Расчет оптимальной точности стабилизации напряжения $\Delta u_{с0}$ сети. Окончательный выбор источника. Тип источника определяется характером технологического процесса. В зависимости от технологии выбирают источник постоянного или переменного тока с определенным диапазоном регулирования и напряжения холостого хода. Однако параметры источника $k_{пс}$ и $k_{тс}$ существенно влияют на качество регулирования. Расчетные выражения $\operatorname{tg}\alpha_0$ и f_0 учитывают свойства источника, но предварительный выбор его еще не гарантирует заданного качества регулирования при возмущениях по напряжению сети.

Для окончательного выбора источника необходимо рассчитать оптимальную точность стабилизации напряжения $\Delta u_{с0}$ сети; расчет следует вести по максимальному значению коэффициента качества

$$\Delta u_{с0} = \frac{1/4\,(\Delta h_{п0} - \tilde{h}_п)}{\varkappa_{гс}}, \qquad (18)$$

где $\varkappa_{гс} = -k_{тс}\dfrac{k_{гн}k_{ст} + k_{гт}k_{сн}}{k_{сн} + k_{пс}k_{ст}}\dfrac{U_{20}}{H_{пн}}$.

Здесь U_{20} — напряжение холостого хода источника; $\Delta u_{с0}$ и $\Delta h_{п0} - \tilde{h}_п$, %.

В соответствии с $\Delta u_{с0}$ осуществляют окончательный выбор источника питания дуги.

Этап IV. Расчет оптимальной точности стабилизации скорости $\Delta v_{сс0}$ сварки и соответствующей жесткости f_0 механической характеристики привода механизма перемещения изделия или сварочной головки. Дуга перемещается относительно изделия механизмом МПИ перемещения изделия или механизмом МПГ перемещения головки. Привод МПИ (МПГ) выбирают по мощности. Однако в данном случае такой подход еще не гарантирует заданного качества регулирования по шву, так как при возмущениях по моменту (см. табл. 2) фактическое отклонение скорости сварки зависит от жесткости механической характеристики привода МПИ (МПГ).

Оптимальная точность стабилизации скорости сварки

$$\Delta v_{сс0} = \frac{1/4\,(\Delta h_{п0} - \tilde{h}_п)}{\varkappa_{гсс}}, \qquad (19)$$

где $\Delta v_{сс0}$ и $\Delta h_{п0} - h_п$, %.

Коэффициент жесткости механической характеристики привода, при котором, несмотря на возмущения по моменту, отклонения глубины провара не превысят допустимого значения $\left(\frac{\text{гс·см}}{\text{об/мин}}\right)$

$$f_0 = \frac{\varkappa_{гсс}\pi D\,\Delta\tilde{M}}{1/4\,(\Delta h_{п0} - \tilde{h}_п)\,\eta i^2 \cdot 60 V_{сн}}, \qquad (20)$$

где D — диаметр изделия (МПИ) или ведущего катка головки (МПГ), мм; $\Delta\bar{M}$ — отклонение статического момента нагрузки, гс·см; $V_{\text{ссн}}$ — скорость сварки, мм/с.

Из выражений (19) и (20) коэффициент качества глубины провара при возмущении по скорости сварки

$$\varkappa_{\text{гсс}} = k_{\text{гсс}} \frac{V_{\text{ссн}}}{H_{\text{пн}}}.$$

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ АРНД

Задачи расчета. Система И—А—Д—Ш с АРНД непрерывного действия (см. рис. 3) состоит из трех автономных органов: источника ИП питания дуги, автоматического регулятора АРНД напряжения дуги, механизма МПИ перемещения изделия или механизма МПГ перемещения сварочной горелки. В соответствии с этим задача проектирования установки с АРНД сводится к тому, чтобы исходя из допустимого отклонения регламентированного параметра сварного шва рассчитать необходимую точность стабилизации длины дуги $\Delta l_{\text{д0}}$, напряжения сети $\Delta u_{\text{с0}}$ и скорости сварки $\Delta v_{\text{сс0}}$, а по ним выбрать основные параметры регулятора напряжения дуги, источника питания и приводов МПИ (МПГ) так, чтобы в реальных условиях, несмотря на наличие возмущающих факторов, обеспечить заданное техническими условиями качество сварного соединения.

Основные этапы расчета. *Этап I. Выбор привода сервомеханизма сварочной головки.* Для обеспечения заданного качества регулирования по шву привод АРНД сервомеханизма должен обладать определенной приемистостью и мощностью. При сварке без колебаний электрода поперек разделки привод выбирают в соответствии с параметрами гармонического возмущения по длине дуги.

Таким образом, для сварки без колебаний будем иметь

$$\tilde{l}_{\text{дг}} = l_{\text{гm}} \sin \omega t;$$

при этом

$$\Omega_{\text{гm}} = \frac{2\pi l_{\text{гm}} \omega}{t_{\text{хв}}}$$

и

$$e_{\text{гm}} = \frac{2\pi l_{\text{гm}} \omega^2}{t_{\text{хв}}},$$

где $\Omega_{\text{гm}}$ — скорость (рад/с) и $e_{\text{гm}}$ — ускорение (рад/с²), которые должен отработать привод; $t_{\text{хв}}$ — шаг ходового винта механизма перемещения электрода горелки, мм.

Выбор привода:

а) уравнение приемистости [11]

$$\frac{M_{\text{н}}^2}{\nu J_{\text{дв}}} \geqslant \frac{4\left(J_{\text{г}} e_{\text{гm}} + \frac{M_{\text{г}}}{\eta}\right) e_{\text{гm}}}{\gamma_{\text{м}}^2};$$

б) уравнение мощности

$$P \geqslant \frac{2\left(J_{\text{г}} e_{\text{гm}} + \frac{M_{\text{г}}}{\eta}\right) \Omega_{\text{гm}}}{\gamma_{\text{м}}}.$$

В этих уравнениях $M_{\text{н}}$ — номинальный момент двигателя, гс·см; $J_{\text{дв}}$ — момент инерции, гс·см·с²; ν — коэффициент, учитывающий инерционность редуктора; $J_{\text{г}}$ — момент инерции сварочной горелки, гс·см·с²; $M_{\text{г}}$ — статический момент горелки, гс·см; η — КПД редуктора; $\gamma_{\text{м}}$ — коэффициент перегрузки двигателя по моменту; P — мощность, Вт.

Выбрав привод по уравнению приемистости (а) и уравнению мощности (б), его необходимо еще проверить на нагрев [11] с учетом цикла нагрузки (сварки) и дополнительного подогрева теплоизлучением от дуги.

Этап II. Определение оптимального передаточного числа редуктора $i_{\text{р}}$ и расчет скорости $V_{\text{от}}$ отработки. Диапазон возможных передаточных чисел, при которых выбранный привод обеспечит требуемые параметры перемещения горелки, определяется построением области располагаемых моментов и скоростей $\Omega_{\text{дв}}(M_{\text{дв}})$, соответствующей механической характеристике привода и области требуемых моментов и скоростей $M_{\text{тр}}$ ($i_{\text{р}}$, $\Omega_{\text{тр}}$) (рис. 11). Последняя строится по уравнениям [11]:

$$M_{\text{тр}} = \nu J_{\text{г}} e_{\text{гm}} i_{\text{р}} + \frac{J_{\text{г}} e_{\text{гm}}}{i_{\text{р}}} + \frac{M_{\text{г}}}{\eta i_{\text{р}}};$$

$$\Omega_{\text{тр}} = i_{\text{р}} \Omega_{\text{гm}},$$

в которых значения $i_{\text{р}}$ задаются.

Диапазон возможных передаточных чисел редуктора соответствует участку кривой $M_{\text{тр}}$ ($i_{\text{р}}$, $\Omega_{\text{тр}}$), находится внутри области располагаемых скоростей и моментов (заштрихована).

Выбрав привод и $i_{\text{р}}$, получим скорость отработки

$$V_{\text{от}} = \frac{n_{\text{н}} t_{\text{хв}}}{60 i_{\text{р}}}.$$

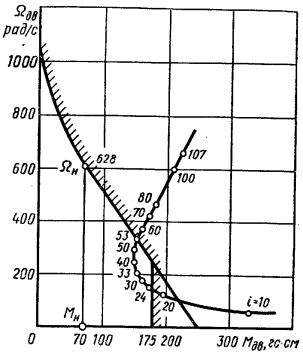


Рис. 11. Оптимальное значение передаточного числа $i_{\text{р}}$ редуктора сервомеханизма АРНД

Этап III. Расчет оптимального значения коэффициента усиления АРНД. Оптимальная точность стабилизации длины дуги в АРНД достигается выбором коэффициента $k_{\text{у}}$ усиления. На этом этапе расчета источник должен быть задан, так как его параметры влияют на величину ошибок регулирования.

Коэффициент усиления усилителя АРНД с учетом всех возмущений по длине дуги

$$k_{\text{у}} = \frac{k_{\text{гн}} + k_{\text{пс}} k_{\text{гт}}}{1/3\,(\Delta h_{\text{п0}} - \tilde{h}_{\text{п}})} \left[U_{\text{т}} + \frac{U_{\text{ян}}}{V_{\text{от}}} V_{\text{ссн}} \operatorname{tg} \alpha + \right.$$

$$\left. + \xi_h \frac{U_{\text{ян}}}{V_{\text{от}}} \omega l_{\text{гm}} \sqrt{\frac{1 + \omega^2 T_{\text{см}}^2}{(1 + \omega^2 T_{\text{и}}^2)(1 + \omega^2 T_{\text{пс}}^2)}} \right], \qquad (21)$$

где $U_{\text{т}}$ — напряжение трогания привода (определяется опытным путем), В; $U_{\text{ян}}$ — номинальное напряжение якоря привода, В; $V_{\text{ссн}}$ — номинальная скорость сварки; $\xi = 1{,}8$ — корректирующий коэффициент; расчет $T_{\text{см}}$ — см. [11].

Иногда удобнее рассчитывать $k_{\text{у}}$ не по допустимому отклонению глубины провара $1/3\,(\Delta h_{\text{п0}} - \tilde{h}_{\text{п}})$, а по допустимой величине динамической ошибки по напряжению $\Delta U_{\text{д0}}$ дуги. В этом случае

$$k_{\text{у}} = \frac{1}{\Delta u_{\text{д0}}} \left(U_{\text{т}} + \frac{U_{\text{ян}}}{V_{\text{от}}} V_{\text{ссн}} \operatorname{tg}\alpha + \xi_{\text{и}} \frac{U_{\text{ян}}}{V_{\text{от}}} \omega l_{\text{гm}} \sqrt{1 + \omega^2 T_{\text{см}}^2} \right), \qquad (22)$$

где $\xi_{\text{и}} = 1{,}6$.

Расчет $k_{\text{у}}$ позволяет обоснованно спроектировать усилитель АРНД.

Этап IV. Расчет оптимальной точности стабилизации напряжения Δu_{c0} сети. Окончательный выбор источника. Источник предварительно выбирают в соответствии с указаниями технологов. Однако для того чтобы обеспечить заданное качество регулирования по шву при возмущениях по напряжению сети, необходимо рассчитать Δu_{c0}.

С учетом зоны нечувствительности АРНД

$$\Delta u_{c_0} = \frac{1/3\,(\Delta h_{п0} - \tilde{h}_п) + \frac{U_т}{k_у}(k_{гн} + k_{пс}k_{гт})}{k_{тс}k_{гт}}. \quad (23)$$

Значение Δu_{c0} предопределяет окончательный выбор источника.

Этап V. Расчет оптимальной точности стабилизации скорости Δv_{cc0} сварки и жесткости f_0 механической характеристики привода перемещения изделия (или горелки).

Оптимальная точность стабилизации скорости сварки (мм/с)

$$\Delta v_{cc_0} = \frac{1/3\,(\Delta h_{п0} - \tilde{h}_п) + \frac{U_т}{k_у}(k_{гн} + k_{пс}k_{гт})}{k_{гсс}}. \quad (24)$$

Жесткость механической характеристики привода перемещения изделия $\left(\frac{\text{гс·см}}{\text{об/мин}}\right)$

$$f_0 = \frac{\pi D\,\Delta\tilde{M}}{60\,\Delta v_{cc\,0}\eta i^2}, \quad (25)$$

где D, $\Delta\tilde{M}$, η, i аналогичны параметрам формулы (14).

Методики расчета основных параметров дуговых автоматов общего назначения типа МРДП, АРДС и АРНД, комплектуемых серийными источниками питания (без обратных связей), учитывают все виды наиболее характерных возмущений, имеющих место в реальных производственных условиях. Эти методики позволяют конструктору исходя из установленного в ТУ на сварное соединение допустимого отклонения регламентируемого параметра шва обосновать точность изготовления и сборки несущей конструкции сварочной установки, выбрать привод и передаточное число редуктора сервомеханизма, рассчитать коэффициент усиления усилителя АРНД, выбрать источник питания, спроектировать привод механизма перемещения изделия или сварочной головки. В тех случаях, когда характер того или иного возмущения окажется существенно отличным от рассмотренного, конечные расчетные выражения будут другими. Их можно получить на основе структурных схем или передаточных функций системы И—А—Д—Ш, приведенных в данной главе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Алекин Л. Е.** К вопросу о разработке технических условий на проектирование установок для механизированной дуговой сварки — Известия вузов. Машиностроение, 1971, № 1, с. 159—162.

2. **Алекин Л. Е.** Инерционность расплавления электродной проволоки и проплавления металла изделия при автоматической сварке под флюсом. — Автоматическая сварка, 1963, № 10, с. 1—7.

3. **Алекин Л. Е.** Методика расчета отклонений содержания легирующих элементов в шве по технологическим критериям качества регулирования. Передовая технология в производстве сварных конструкций. Пермь, 1968, с. 99—107.

4. **Бессекерский В. А., Попов Е. П.** Теория систем автоматического регулирования. М., Наука, 1975. 767 с.

5. **Ильенко Н. А.** Методика определения постоянной времени проплавления металла. Передовая технология в производстве сварных конструкций. Пермь, 1968, с. 76—82.

6. **Каспржак Г. М., Щитова В. М.** Структурная классификация и сравнительный анализ систем автоматического регулирования процесса дуговой сварки. Труды секции электросварки АН СССР. М., Академиздат, 1953, Вып. I. с. 31—57.

7. **Микаелян В. Г.** Определение статических характеристик дуги при автоматической сварке алюминия по флюсу. — Сварочное производство, 1964, № 12, с. 17—20.

8. **Определение** вольтамперных характеристик маломощной сварочной дуги/ Л. Е. Алекин и др. — Автоматическая сварка, 1965, № 9, с. 5—7.

9. **Патон Б. Е., Лебедев В. К.** Электрооборудование для дуговой и шлаковой сварки. М., Машиностроение, 1966. 359 с.

10. **Процессы** саморегулирования по скрытой составляющей длины дуги при сварке неплавящимся электродом в аргоне/ Э. А. Гладков и др. — Сварочное производство, 1974, № 7, с. 9—12.

11. **Рабинович Л. В.** Проектирование следящих систем М., Машиностроение, 1969. 499 с.

12 Труды секции электросварки АН СССР. М., Академиздат, 1953, Вып. I. 140 с.

Глава 2

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ, НАПЛАВКИ И РЕЗКИ

СВОЙСТВА СВАРОЧНОЙ ДУГИ И ТРЕБОВАНИЯ К ИСТОЧНИКУ ПИТАНИЯ

Общие сведения. Для плавления металлов используется энергия электрического дугового разряда, возбуждаемого и поддерживаемого в пространстве между электродом и изделием. Свойства и размеры шва зависят от физических условий, в которых существует дуговой разряд, и от свойств источника питания, для которого дуга является нагрузкой.

Проводимость дугового промежутка зависит как от расстояния между изделием и электродом, так и от параметров, определяющих физические условия существования дугового разряда — химического состава свариваемого изделия, электродной проволоки и газовой среды, давления и др. Изделия могут отличаться по конструкции и геометрическим размерам. Сварной шов может занимать различное пространственное положение. Для качества шва имеет значение не только количество энергии, поступающее от источника питания в зону сварки, но и закон поступления энергии во времени. Наличие электрического поля между изделием и электродом является необходимым, но не достаточным условием для возникновения дугового разряда. Для возникновения дугового разряда необходимо, чтобы в электрическом поле имелись свободные электроны, которые, двигаясь упорядоченно под воздействием сил электрического поля, создавали условия для ионизации газа в промежутке между изделием и электродом. Свободные электроны создают искусственно, возбуждая (зажигая) дугу.

Исходя из конкретных условий, связанных со свойствами свариваемых металлов и конструкции изделий, с требованиями к качеству сварного шва, со степенью автоматизации процесса сварки, применяют тот или иной способ сварки и тот или иной источник переменного или постоянного тока, обладающий свойствами, удовлетворяющими требованиям технологии процесса дуговой сварки. Эти свойства называют технологическими свойствами источника питания.

В процессе сварки в энергетической системе, которую представляют источник питания — сварочная дуга — шов, возникают возмущения, которые приводят к нарушению равновесия в системе и вызывают изменения энергетических параметров системы — напряжения на дуге и тока в сварочном контуре, что отражается на содержании легирующих элементов в шве и на его параметрах. Причинами возникающих возмущений чаще всего являются изменения длины дуги, изменения напряжения сети, скорости подачи электродной проволоки и т. д. Возмущения могут вызываться и изменениями физико-химических явлений, происходящих в дуговом промежутке. При возмущениях изменяется электрическая проводимость пространства между изделием и электродом, что вызывает в системе источник питания — сварочная дуга переходные процессы, так как нарушается установившийся режим работы системы. Во время переходных процессов в системе источник питания — дуга энергия электрического поля преобразуется в энергию магнитного поля, а также происходят обратные преобразования энергий; часть энергии теряется на тепловые процессы. Характер переходных процессов и скорость их протекания зависят от свойств источника питания и условий, в которых горит дуга.

В современной сварочной технике применяют следующие источники питания сварочной дуги: источники питания дуги переменным током — сварочные трансформаторы общепромышленного назначения и специализированные установки

переменного тока для сварки изделий из легких сплавов, алюминия, магния и др., источники питания дуги постоянным током — сварочные выпрямители и сварочные генераторы общепромышленного назначения и специализированные сварочные выпрямительные установки.

Физические явления, протекающие в областях сварочной дуги. Пространство между изделием и электродом, заполненное ионизированным газом, является анизотропной средой, которая как в осевом, так и в радиальном направлениях из-за сложных физико-химических явлений, происходящих при сварке, имеет различные свойства — напряженность электрического поля, температуру, проводимость и т. д. Дуговой разряд относится к устойчивым электрическим разрядам, который может существовать длительное время, пока эти условия не будут нарушены каким-либо возмущением. В осевом направлении в дуге различают: столб дуги, центральную часть длиной порядка десятых долей сантиметра и приэлектродные области длиной порядка 10^{-5}—10^{-3} см. Столб дуги — это ионизированный газ, содержащий нейтральные молекулы и атомы газов и паров, свободные электроны и положительные ионы, возникающие при ионизации нейтральных частиц. В пространстве между электродом и изделием, как известно, имеется хаотическое тепловое движение заряженных частиц. Кроме того, свободные электроны и положительные ионы (число отрицательных ионов в обычных условиях сварки ничтожно мало) под действием сил электрического поля движутся упорядоченно. Свободные электроны с большой скоростью перемещаются к аноду, а положительные ионы, движущиеся значительно медленнее, вследствие большой массы — к катоду. При прямой полярности при сварке плавящимся электродом изделие соединяют с «плюсом» источника питания постоянного тока, а электрод или электродную проволоку — с «минусом». В этом случае изделие является анодом, а электрод — катодом. При сварке в углекислом газе из-за сильного разбрызгивания металла плавящегося электрода используют обратную полярность. Движущиеся упорядоченно электроны и положительные ионы создают свои магнитные поля. В столбе дуги происходят соударения нейтральных частиц и частиц, несущих электрический заряд, что сопровождается ионизацией газа столба дуги. Степень ионизации составляет несколько процентов. Ионизированный газ с такой степенью ионизации называется низкотемпературной плазмой. На оси столба температура порядка 5000—7000° С. При определенных условиях может быть и выше. Столб дуги квазинейтрален, так как концентрация отрицательно и положительно заряженных частиц в единице объема плазмы дуги одинакова. Суммарный заряд единицы объема равен нулю. Плазма дуги не создает своего электрического поля.

Компоненты смеси газов и паров пространства между изделием и электродом, имеющие более низкий потенциал ионизации, ионизируются в большей степени. С понижением температуры газа возрастает влияние той компоненты смеси, которая обладает наиболее низким потенциалом ионизации — K, Ca, Na и др. При горении дуги в столбе дуги наблюдается ступенчатая ионизация. Из-за малой плотности ионного тока энергией, которую передают положительные ионы нейтральным частицам при столкновении, пренебрегают. Ток в сварочной дуге обусловлен в основном упорядоченным движением свободных электронов. Ток дуги — это ток проводимости. За положительное направление тока в дуге, как это принято в физике и электротехнике, принимают перемещение частиц, несущих положительный заряд, равный по абсолютной величине заряду электрона. Положительное направление тока противоположно направлению свободных электронов, движущихся между изделием и торцом электродной проволоки под действием сил электрического поля. Электрическая проводимость столба сварочной дуги высока, напряженность электрического поля в столбе дуги не высока и составляет 10—35 В/см. Падение напряжения в столбе дуги невелико. Мощность, выделяемая в столбе дуги, в основном (около 80%) рассеивается путем лучеиспускания в окружающее пространство.

Области дуги, в которых температура столба дуги снижается до температуры расплавленного или нагретого металла, называют приэлектродными областями

дуги. В них протекают процессы, резко отличающиеся от процессов в столбе дуги и трудно исследуемые не только теоретически, но и экспериментально.

Энергия, выделяющаяся в этих областях, расходуется на плавление металла изделия и плавящегося электрода или на плавление металла и нагрев вольфрамового электрода. В приэлектродных областях скапливаются заряженные частицы и возникают пространственные (объемные) заряды. В катодной области скапливаются положительные ионы, а в анодной — электроны. В связи с этим в приэлектродных областях создаются условия для резкого возрастания напряженности электрического поля. Напряженность в приэлектродных областях порядка $(1 \div 2)\ 10^6$ В/см.

Свободные электроны зарождаются также и в столбе дуги при происходящей там термической ионизации газа. Причинами появления свободных электронов в катодной области являются термоэлектронная и автоэлектронная (электростатическая) эмиссии. Положительные ионы, пришедшие из плазмы столба, ударяясь о поверхность катода, нейтрализуются, отдавая катоду кинетическую энергию, приобретенную ими в электрическом поле столба дуги. Ввод этой энергии через активное пятно вызывает увеличение скорости теплового движения нейтральных и заряженных частиц вещества катода. Температура катода повышается, возрастает кинетическая энергия свободных электронов в металле катода. Энергия электрона становится больше энергии, требуемой для преодоления потенциального барьера, и электрон выходит из активного пятна на катоде в катодную область. Такого рода эмиссия называется термоэлектронной.

При горении дуги в катодной области возникает положительный объемный заряд. Растет напряженность электрического поля у катода и создаются условия для автоэлектронной эмиссии. Электрическое поле высокой напряженности «вырывает» свободные электроны из материала катода даже при невысокой температуре катода, которая недостаточна для протекания термоэлектронной эмиссии. Эмиссия электронов как термоэлектронного, так и автоэлектронного происхождения возникает в первую очередь с тех мест поверхности катода, где работа выхода электронов меньше. Эти места называют активными пятнами.

Активное пятно на катоде (катодное пятно) непрерывно перемещается (блуждает) по поверхности торца электродной проволоки и может возникнуть на ее боковой поверхности. Особенно беспокойно блуждает катодное пятно у плавящегося электрода (стальная проволока имеет $T_{плав} = 1539^\circ$ С).

Перемещение катодного пятна вызывает пространственное изменение расположения столба дуги, так как катодное пятно является основанием дуги. Если неплавящийся электрод (вольфрамовая проволока) имеет $T_{плав} = 3377^\circ$ С, то при нормальном сварочном режиме проволока только нагревается, обеспечивая выход электронов в катодную область. У торца плавящегося электрода образуются капли жидкого металла. Считают, что при сварке с плавящимся электродом при прямой полярности решающее значение для возникновения и существования дугового разряда имеет автоэлектронная эмиссия. Если электрод плавится, кипит и испаряется, то возникают струи паров вещества катода (плазменные потоки), устремляющиеся в столб дуги и обогащающие его парами материала электрода.

Падение напряжения в катодной области зависит от потенциала ионизации газов и паров катодной области.

Падение напряжения в катодной области обычно преобладает в общем напряжении на дуге, а его величина зависит от конкретных физических условий для данной дуги. Мощность, выделяемая в катодной области, расходуется на нагрев и плавление электрода, т. е. непосредственно на процесс сварки. Часть теплоты, приобретенной катодом, уходит в его массу путем теплоотдачи. В анодной области при горении дуги создается отрицательный объемный заряд.

Электроны, поступающие из столба дуги в анодную область, нейтрализуются у поверхности анода, отдают энергию при воссоздании нейтральных атомов вещества анода и вызывают увеличение температуры анода. Кроме того, часть электронов задерживается в пространственном заряде. Так как максимальная температура анода не может превышать температуру кипения материала анода, которая меньше температуры столба дуги, то из столба происходит интенсивный теплоотвод в сторону анода. Энергия, отдаваемая аноду, состоит из энергии возврата электронов в металл, равной энергии работы выхода электронов из вещества катода и кинетической энергии, которую приобрели электроны, двигаясь к аноду в ионизированном газе столба дуги. В анодной области ионизация практически не происходит. Как показывают экспериментальные данные, анодное падение напряжения зависит от физических условий в анодной области и от степени влияния пространственного отрицательного заряда. Величина анодного падения напряжения практически не зависит от сварочного тока. Для дуг с плавящимся электродом, горящих в атмосфере воздуха, анодное падение напряжения равно 2,5±1 В. Мощность, выделяемая в анодной области при прямой полярности, расходуется на плавление металла анода.

График распределения потенциалов по длине дуги. На рис. 1 приведено распределение потенциалов по длине дуги, горящей в атмосфере воздуха при ручной дуговой сварке. Каждой дуге, горящей при определенных физических условиях, соответствует определенный график, строящийся по данным опыта. В приэлектродных областях наблюдаются резкие изменения потенциалов. Напряжение на дуге есть сумма падений напряжений в анодной $u_а$, катодной $u_к$ областях, а также в столбе дуги $u_{ст}$. Для дуг с плавящимся электродом при нормальных режимах $u_к > u_а$, $u_а + u_к > u_{ст}$.

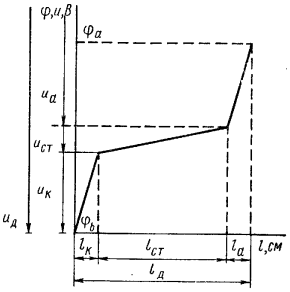


Рис. 1. Распределение потенциалов по длине дуги

Статические вольт-амперные характеристики (ВАХ) дуги. Проводимость разрядного промежутка зависит от длины дуги и от физических условий, в которых существует дуга. Ввиду малости длин приэлектродных областей обычно за длину дуги принимают длину столба дуги. ВАХ дуги строится по данным, полученным из опыта. Статическая вольт-амперная характеристика дуги есть зависимость напряжения $U_д$ на дуге от сварочного тока I при постоянной длине $l_д$ дуги и при постоянстве всех прочих физических факторов, влияющих на условия горения дуги. В сварочной технике известны три формы статических ВАХ дуг, снятых на постоянном токе: падающая ВАХ—с ростом тока напряжение уменьшается (рис. 2, *а*; дифференциальное сопротивление $R_{диф} < 0$, угол $\beta_д > 90^\circ$); жесткая ВАХ — рост тока не вызывает изменения напряжения (рис. 2, *б*; дифференциальное сопротивление $R_{диф} = 0$, угол $\beta_д = 180^\circ$) и возрастающая ВАХ — рост тока вызывает увеличение напряжения (рис. 2, *в*; дифференциальное сопротивление $R_{диф} > 0$, угол $\beta_д < 90^\circ$). Вольт-амперные характеристики падающей формы имеют малоамперные свободногорящие в воздухе дуги при токе от нескольких ампер до токов порядка 70 А. Причиной снижения напряжения на дуге является уменьшение напряжения на столбе дуги. С ростом тока более интенсивно протекает ионизация, проводимость столба дуги увеличивается и возрастает площадь поперечного сечения. Падающую по форме ВАХ имеет также свободногорящая малоамперная дуга в среде аргона. В этом случае увеличение тока не сопровождается ростом сечения столба дуги из-за защитного газа, оказывающего действие в радиальном направлении на пространственное положение дуги. Рост проводимости объясняется интенсивно протекающей ионизацией газа столба дуги вследствие повышения температуры газа.

ВАХ жесткой формы имеют сварочные дуги при токах от 70—80 А и более при ручной дуговой и механизированной сварке под флюсом (рис. 2, *б*). С ростом тока увеличивается поперечное сечение столба дуги, а проводимость столба дуги

в этих условиях остается практически без изменения. При сварке под флюсом при небольших диаметрах электродной проволоки и больших значениях тока наблюдается некоторое возрастание напряжения на дуге. На практике пользуются эмпирической формулой для вычисления напряжения на дуге, связывающей его с величиной тока. Так, для токов 300—500 А напряжение на дуге $U_д = 20 + 0{,}04I$.

При сварке плавящимся электродом в среде углекислого газа и сварке сжатой дугой ВАХ дуги имеет возрастающую форму. С ростом тока напряжение на дуге увеличивается (рис. 2, *в*). При этом катодное пятно занимает всю площадь торца электродной проволоки и высокая напряженность электрического поля в катодной области обеспечивает условия для автоэлектронной эмиссий. С ростом тока площадь катодного пятна остается неизменной.

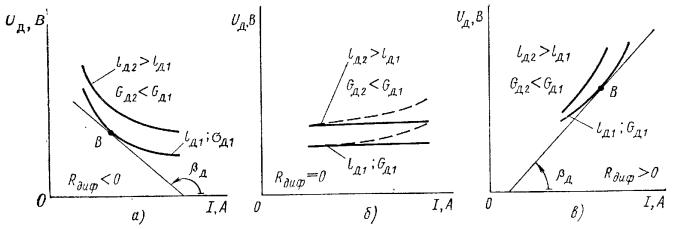


Рис. 2. Статические вольт-амперные характеристики дуги

Особенности горения дуги переменного тока. При питании дуги от источника переменного тока, например от трансформатора с синусоидальным напряжением (частоты 50 Гц), активное пятно на катоде 100 раз в секунду изменяет свое расположение. К концу каждого полупериода синусоидальное напряжение уменьшается до нуля; при этом уменьшается напряженность электрического поля в пространстве между изделием и торцом электродной проволоки. Это влечет за собой уменьшение степени ионизации плазмы столба дуги, рассасывание пространственного заряда в катодной области, что ухудшает условия существования дугового разряда. Последние зависят как от физико-химических свойств пространства между катодом и анодом, которые определяют величину $U_{пв}$ повторного возбуждения дуги, так и от статических и динамических свойств источника питания. Если источник питания не обладает значительной индуктивностью, величина которой зависит от конкретных физических условий, то устойчивое горение дуги невозможно.

На рис. 3 приведены осциллограммы вторичного синусоидального напряжения u_2 трансформатора, сварочного тока i_2 и напряжения на дуге $u_д$ в функции времени. При проведении опыта для получения падающей внешней характеристики источника в сварочный контур был включен резистор. Осциллограммы записаны электронным осциллографом в отрицательный и положительный полупериоды T. Ток i_2 и напряжение $u_д$ несинусоидальны, так как нагрузкой для источника является нелинейная проводящая среда между изделием и электродом. Максимумы и нулевые значения u_2 и i_2 во времени совпадают при отсутствии в сварочном контуре индуктивности. В отрицательный полупериод синусоидального напряжения, когда u_2 уменьшается по абсолютной величине и достигает значения U_y, дуговой разряд практически угасает. Напряжение u_2 становится недостаточным для создания между изделием и электродом напряженности электрического поля, необходимой для существования дугового разряда. Дуга угасает на время $t_п$.

В течение времени $t_п$ осциллограмма фиксирует наличие тока, что указывает, что проводимость участка между изделием и электродом не равна нулю. В течение времени от t_y до $t_в$ электрический разряд носит недуговой характер. В следующий полупериод u_2, когда синусоидальное напряжение возрастает и достигает значения $U_{пв}$ (при $t_п$), вновь создаются условия для существования дугового разряда и дуга повторно возбуждается.

Напряжение $U_{пв}$ повторного возбуждения дуги зависит от многих факторов и прежде всего от физико-химических свойств среды между изделием и электродом.

При $u_2 = U_{пв}$ в дуговом промежутке обеспечивается напряженность электрического поля такой величины, при которой возможно интенсивное зарождение свободных электронов и восстановление условий для существования электрического дугового разряда. В течение времени $t_п$ сварочный контур практически разомкнут. На рис. 3 для большей наглядности величины i_2 в районе $t = 0$ сильно преувеличены. Ток i_2 при $t = t_в$ составляет около 2% от действующего значения i_2. После повторного возбуждения дуги, начиная с $t = t_в$, ток i_2 и скорость его изменения резко возрастают. Время $t_п$ перерыва в горении дуги уменьшают двумя способами: либо снижают напряжение $U_{пв}$ повторного возбуждения дуги, либо изменяют свойства источника питания. Величину $U_{пв}$ можно снизить, вводя в парогазовую среду между изделием и электродом химические элементы с низкими потенциалами ионизации, уменьшая величину давления ниже атмосферного, увеличивая амплитудное значение u_2 и увеличивая частоту f напряжения u_2. Повторное возбуждение дуги облегчается применением специальных устройств — возбудителя дуги (осцилляторов) и импульсных стабилизаторов горения дуги переменного тока.

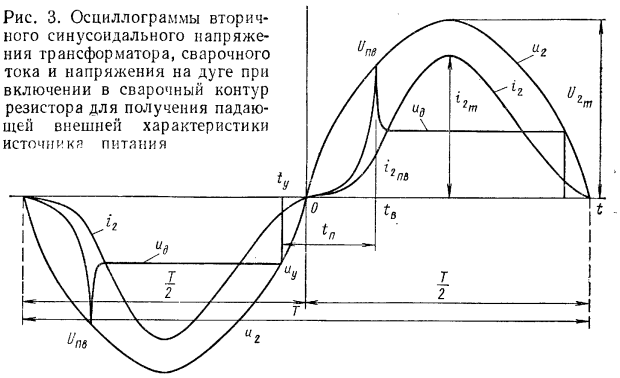


Рис. 3. Осциллограммы вторичного синусоидального напряжения трансформатора, сварочного тока и напряжения на дуге при включении в сварочный контур резистора для получения падающей внешней характеристики источника питания

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

Осцилляторы. При сварке неплавящимся электродом в среде защитных газов первоначальное возбуждение дуги производится бесконтактным способом. Напряжение холостого хода источника питания порядка 60—80 В недостаточно для того, чтобы вызвать электрический разряд или даже искру в промежутке между изделием и электродом, хотя промежуток может составлять лишь доли миллиметра.

Для возникновения в промежутке свободных электронов и возбуждения дуги необходим кратковременный импульс напряжения, который обеспечил бы пробой и последовательное развитие искрового разряда вплоть до дугового. На практике сварочную дугу возбуждают специальным устройством, называемым осциллятором.

Осциллятор представляет собой генератор затухающих по амплитуде знакопеременных высокой частоты (порядка 100—300 кГц) импульсов высокого напряжения (около 3 кВ). При подаче импульсов на промежуток между изделием и электродом происходит пробой промежутка искрой и появление свободных электронов. Кратковременный искровой разряд развивается в дуговой, создавая условия для горения сварочной дуги, питаемой от основного источника питания ИП.

Применяют две схемы включения осциллятора в цепь дуги: параллельную и последовательную. В схеме осциллятора параллельного включения (рис. 4)

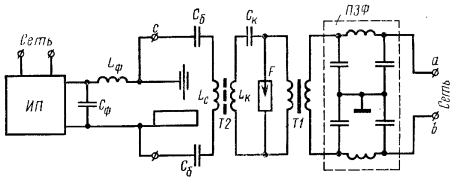


Рис. 4. Схема осциллятора параллельного включения

трансформатор *T1* промышленной частоты (50 Гц) повышает напряжение сети до 3000—6000 В. Напряжение вторичной обмотки *T1* подведено к разряднику *F*, входящему в колебательный контур, в котором возникают высокочастотные колебания частотой $f = 150\,000 \div 300\,000$ Гц. При возрастании синусоидального напряжения на выходе трансформатора *T1* заряжается конденсатор $C_к$. В его электрическом поле накапливается энергия $\frac{C_к u^2}{2}$. По достижении определенного значения напряжения на вторичной обмотке трансформатора *T1* происходит пробой искрой воздушного промежутка разрядника *F*. Конденсатор $C_к$ разряжается на индуктивность $L_к$, являющуюся первичной обмоткой высокочастотного трансформатора *T2*, осуществляющего магнитную связь осциллятора со сварочным контуром. В колебательном контуре $C_к$ — $L_к$ — *F* возникает ток *i*. Энергия поля конденсатора $C_к$ при его разряде за вычетом потерь на резистивные сопротивления преобразуется в энергию магнитного поля индуктивности $L_к$, равную $\frac{L_к i^2}{2}$.

В колебательном контуре $C_к$ — $L_к$ — *F* возникает знакопеременный, затухающий по амплитуде колебательный процесс с угловой частотой, зависящей от величин $C_к$ и $L_к$.

Трансформатор *T2* через вторичную обмотку $L_с$ осуществляет ввод высоковольтного высокочастотного напряжения на дуговой промежуток (зажимы *c* и *d*). Защита источника от воздействия этого напряжения осуществляется с помощью Г-образного фильтра, состоящего из индуктивности $L_ф$ и емкости $C_ф$. Если трансформатор источника питания имеет повышенное магнитное рассеяние, то наличие индуктивного фильтра $L_ф$ не обязательно. Блокировочные конденсаторы $C_б$ создают условия безопасной работы сварщика и предотвращают повреждение источника питания при пробое конденсатора $C_к$. В осцилляторе есть помехозащитный фильтр ПЗФ сети от высокочастотных колебаний. Колебания, возникшие в колебательном контуре, затухают примерно за 2 мс, так как энергия поля конденсатора $C_к$ расходуется на покрытие потерь в трансформаторе *T2*, а также в электрических разрядниках *F* и дуге. Импульсы колебаний, генерируемых осциллятором, периодически повторяются после восстановления электрической прочности разрядника *F*. В источниках питания дуги переменным током осциллятор облегчает повторное возбуждение дуги после смены полярности. Импульсы должны подаваться с небольшим опережением во времени к моменту перехода сварочного тока через нуль.

Принципиальная электрическая схема осциллятора последовательного включения приведена на рис. 5. Катушка с индуктивностью $L_к$ колебательного контура включена последовательно с дугой. Сечение обмотки рассчитывается на сварочный ток. Защита источника от воздействия высокочастотного высокого напряжения, возникающего на индуктивности $L_к$ при разряде конденсатора $C_к$, осуществляется путем шунтирования источника конденсатором $C_ф$. Осцилляторы последовательного включения компактнее и проще, чем параллельного. Работают осцилляторы обычно только в начале процесса сварки. В схемах источников предусмотрено автоматическое отключение осциллятора после возбуждения дуги.

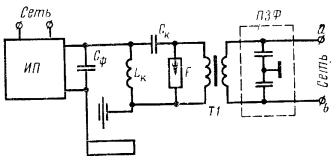


Рис. 5. Схема осциллятора последовательного включения

Импульсный стабилизатор горения дуги переменного тока (ИСГД) применяют при сварке переменным током неплавящимся электродом изделий из легких сплавов в среде защитного газа. При этом виде сварки возникают трудности повторного возбуждения дуги при переходе на обратную полярность. На рис. 6 приведена принципиальная схема ИСГД. Форма сварочного тока источника во времени может быть синусоидальной, трапецеидальной и прямоугольной. Конденсатор $C_н$ заряжается от трансформатора *T* через вентиль *V1*.

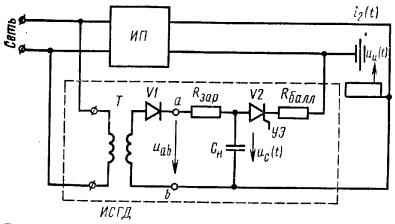


Рис. 6. Принципиальная схема импульсного стабилизатора горения дуги переменного тока

Наличие вентиля *V1* предотвращает разряд конденсатора $C_н$ при уменьшении напряжения u_{ab}. В цепи разряда конденсатора $C_н$ включены тиристор *V2* и ограничительный балластный резистор $R_{балл}$. Разряд конденсатора $C_н$ на дуговой промежуток происходит при подаче сигнала положительного потенциала на управляющий электрод *УЭ* тиристора *V2* от системы управления (на рис. 6 схема системы управления не приведена). Сигнал, подаваемый на электрод *УЭ*, открывает тиристор лишь тогда, когда на анод вентиля *V2* подан положительный потенциал относительно катода. Запирается тиристор *V2* после полного разряда конденсатора $C_н$. Импульс обеспечивает повторное возбуждение дуги на обратной полярности сварочного тока. Параметры импульса — амплитуда порядка 600 В, длительность 60—80 мкс — устанавливаются в соответствии с требованиями технологии. Мгновенная амплитуда тока импульса 60—80 А.

Устройство для плавного снижения сварочного тока в конце сварки. При быстром прекращении сварочного тока в шве образуется кратер. Для исключения данного технологического дефекта шва необходимо плавно снижать сварочный ток в конце сварки до нуля примерно за 5—6 с. В установках для автоматизированной сварки неплавящимся электродом в среде защитных газов это осуществляется автоматически с использованием специального узла РССТ — регулятора спада сварочного тока, воздействующего на цепь управления регулятора сварочного тока. Обычно на практике это осуществляется путем разряда предвари-

тельно заряженного конденсатора на резистивное сопротивление. Однако при разряде конденсатора непосредственно на цепь регулятора тока, обладающего резистивным сопротивлением небольшой величины, требуется конденсатор весьма большой емкости. Для уменьшения емкости конденсаторной батареи в РССТ современных источников используют промежуточные полупроводниковые усилители на транзисторах. В этом случае разряд конденсаторной батареи происходит на цепь эмиттер—база транзистора, а обмотка регулятора тока включена в коллекторную цепь транзистора, где ток в 30—40 раз больше тока базы. Промежуточный полупроводниковый усилитель на транзисторах в схеме РССТ позволяет не только резко снизить емкость батареи, но и создать возможность для регулирования времени снижения сварочного тока.

РЕЖИМЫ РАБОТЫ И ЕДИНАЯ СТРУКТУРА ОБОЗНАЧЕНИЙ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

Режимы работы источников питания. Любая электротехническая установка, в том числе и источник питания, рассчитана на определенную нагрузку, при которой он работает, не перегреваясь выше установленных норм. Наименее теплостойкими в источнике являются изоляция обмоток и *p-n* — переходы выпрямительных блоков. При одной и той же нагрузке источник питания нагревается до разной температуры T при различной температуре окружающей среды T_0. Температура окружающей среды по ГОСТу принята равной 40° С на высоте 1000 м над уровнем моря. Источник питания рассчитан по нагреву на определенный режим работы, определяемый характером изменения нагрузки во времени. Режим характеризуется графиком нагрузки, представляющим зависимость отдаваемой мощности P во времени. Ток, напряжение и мощность источника, при которых он работает в данном режиме не перегреваясь выше нормы, называют номинальными (расчетными).

Номинальные ток, напряжение, мощность и режим работы указываются предприятием-изготовителем на щитке источника и в каталоге. Различают три режима работы источников питания: продолжительный, перемежающийся и повторно-кратковременный. Продолжительным называется такой режим, при котором источник успевает за время работы нагреться до установившейся температуры перегрева $\theta_у$. Перегревом называется разность температур T источника питания и T_0 окружающей среды. За установившуюся температуру $T_у$ и температуру $\theta_у$ перегрева принимают такие значения, при которых наступает равенство тепла, выделяемого в источнике при его работе, и отдаваемого в окружающую среду.

На рис. 7, *а* приведены зависимости нагрузки P (t), нарастание температуры θ (t) перегрева и температуры T (t) источника для продолжительного режима работы. Величина подкасательной τ экспоненциальной кривой θ (t), имеющая размерность времени, называется постоянной времени нагрева. Она характеризует скорость возрастания θ и T данного источника. За время t, равное τ, перегрев достигает 63% $\theta_у$.

Перемежающийся режим характерен тем, что за время работы $t_р$ (рис. 7, *б*) температура источника не достигает значения $T_у$, а во время перерывов $t_п$ в работе не успевает охладиться до температуры T_0. На практике время $t_п$ соответствует режиму работы на холостом ходу. Охлаждение, так же как и нагрев, происходит по экспоненциальному закону, но постоянная времени охлаждения $\tau_{охл}$ несколько больше постоянной времени нагрева ($\tau_{охл} > \tau_{нагр}$). По истечении некоторого времени, во время которого периоды $t_р$ работы чередуются с периодами $t_п$ паузы, температура T источника достигает среднего значения $T_{доп}$ между T_1 и T_2. Эта температура соответствует номинальным (расчетным) значениям тока $I_н$, напряжения $U_н$ и мощности $P_н$. Перемежающийся режим работы характеризуется относительной продолжительностью нагрузки (%)

$$ПН = \frac{t_р}{t_р + t_п} 100,$$

где $t_р + t_п = t_ц$ — время цикла при нагрузке.

Повторно-кратковременный режим отличается от перемежающегося тем, что источник не работает на холостом ходу, а отключается от питающей силовой сети. На рис. 8 показана зависимость нагрузки для повторно-кратковременного режима. В таком режиме, как правило, работают источники питания установок

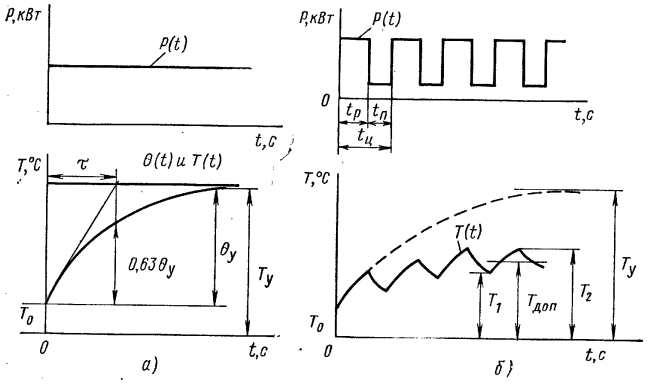


Рис. 7. Зависимость нагрузки P (t), нарастание температуры перегрева θ (t) и температуры T (t) источника для продолжительного (*а*) и для перемежающегося режимов работы (*б*)

для механизированной сварки. Повторно-кратковременный режим характеризуется относительной продолжительностью включения. Длительность цикла работы источников, предназначенных для ручной дуговой сварки, имеющих перемежающийся и повторно-кратковременный режимы, принята равной 5 мин, а источников для механизированной сварки и для универсальных — 10 мин. Источники питания, предназначенные для внутрисоюзных поставок и для поставок на экспорт в страны с умеренным климатом, изготовляют в климатическом исполнении *У*, категории размещения 2, 3 и 4 по ГОСТ 15150—69 и ГОСТ 15543—70. Для отдельных источников в исполнении *У* нижние значения температур окружающей среды отличаются от норм перечисленных стандартов.

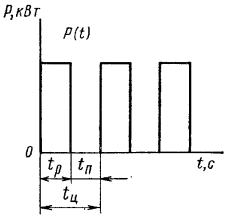


Рис. 8. Зависимость нагрузки P (t) для повторно-кратковременного режима работы

Источники питания, предназначенные на экспорт в страны с тропическим климатом, изготовляют в климатическом исполнении *Т*, категории размещения 2, 3 или 4. Условия эксплуатации источников питания в части воздействия механических факторов внешней среды по группе УМ1 — по ГОСТ 17516—72. Конструкции источников питания удовлетворяют требованиям безопасности по ГОСТ 12.2.007.0—75, ГОСТ 12.2.007.8—75, ГОСТ 12.1.003—76. Степень защиты источников питания для ручной сварки — не ниже IP22, источников для механизированной сварки — не ниже IP21.

Единая структура обозначения электросварочного оборудования. С 1975 г. для электросварочного оборудования, выпускаемого заводами МЭТП СССР, при-

нята единая структура обозначения. Обозначение типов изделий, выпускаемых заводами, состоит из буквенной и цифровой части. Первая буква — тип изделия (Т — трансформатор, В — выпрямитель, Г — генератор, У — установка); вторая буква — вид сварки (Д — дуговая, П — плазменная); третья буква — способ сварки (Ф — под флюсом, Г — в защитных газах, У — универсальные источники для нескольких способов сварки); отсутствие буквы означает ручную сварку штучными электродами; четвертая буква дает дальнейшее пояснение назначения источника (М — для многопостовой сварки, И — для импульсной сварки). Две (или одна) цифра после букв и тире — номинальный сварочный ток источника (округлено в сотнях ампер); две последующие цифры (например, 02) — регистрационный номер изделия; следующие буквы и цифра — климатическое исполнение (*У* или *Т*) и категорию размещения (2, 3 или 4). Расшифровывая, например, тип изделия ВДГМ-1602У3, получим: выпрямитель для дуговой сварки в среде защитных газов многопостовой на ток 1600 А, регистрационный номер изделия 02, климатическое исполнение *У*, категория размещения 3.

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Общие сведения. Современные источники питания переменного тока, серийно выпускаемые отечественными заводами, можно разделить на две группы. Первая группа — это источники переменного тока, предназначенные для питания одного поста при ручной дуговой сварке штучными электродами и при механизированной сварке под флюсом. Источники этой группы на предприятиях называют сварочными трансформаторами. Основным блоком у них является трансформатор. Источники переменного тока на большие токи (1000—1600 А) для механизированной сварки выпускаются стабилизированными. Вторая группа источников переменного тока предназначена для сварки изделий из легких сплавов, в состав которых входят элементы, образующие на поверхности свариваемых металлов туго-

1. Техническая характеристика трансформаторов для ручной дуговой сварки

Параметр	ТД-300	ТД-500	ТД-502	ТД-102	ТД-306
Климатическое исполнение, категория размещения	У2, Т2	У2, Т2	У3	У2	У2
Режим работы ПН, %	60	60	60	20	30
Номинальный сварочный ток, А	315	500	500	160	250
Пределы регулирования сварочного тока, А	0—365	100—560	100—560	55—175	90—300
Номинальное рабочее напряжение, В	32	40	40	26,4	30
Первичная мощность, кВА	20,5	32	26,5	11,4	19,4
КПД %, не менее	88	85	85	72	72
Габаритные размеры (длина × высота × ширина), мм	620×692×710	570×720×835	780×720×835	290×435×535	370×630×585
Масса кг, не более	140	210	240	38	71

Примечание. Нижняя температура окружающей среды —40° С; продолжительность цикла сварки 5 мин; напряжение холостого хода не более 80 В, напряжение сети 220, 380 В.

плавкие пленки, препятствующие нормальному сплавлению. В этом случае сварка производится неплавящимся вольфрамовым электродом в среде защитного газа от специализированных источников питания, которые называют установками.

Трансформаторы для ручной дуговой сварки. Техническая характеристика сварочных трансформаторов для ручной дуговой сварки штучными электродами приведена в табл. 1.

Трансформаторы выпускаются в передвижном (ТД-300, ТД-500, ТД-502) и в переносном (ТД-102, ТД-306) исполнениях и рассчитаны на перемежающийся режим работы. Трансформаторы имеют внешние характеристики падающей формы. Магнитопровод ТД стержневого типа. Используя специальную конструкцию магнитной цепи и расположения обмоток в трансформаторе искусственно усиливают

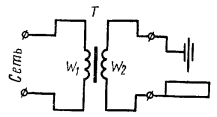


Рис. 9. Принципиальная упрощенная электрическая схема трансформатора типа ТД

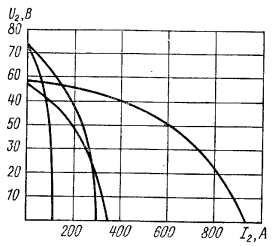


Рис. 10. Внешние характеристики трансформатора ТД-500

магнитные поля рассеяния, что увеличивает индуктивность рассеяния обмоток, а следовательно, их индуктивные сопротивления. Конструкция трансформатора позволяет перемещать катушки одной из обмоток, плавно регулировать индуктивные сопротивления обмоток и устанавливать необходимый сварочный ток. На рис. 9 приведена принципиальная упрощенная электрическая схема трансформатора типа ТД. На каждом стержне магнитопровода трансформатора имеется катушка первичной (W_1) и вторичной (W_2) обмоток. Катушки первичной обмотки — неподвижные и закреплены у нижнего ярма сердечника; катушки вторичной обмотки — подвижные. Вторичные катушки перемещаются с помощью ходового винта, пропущенного через верхнее ярмо сердечника. Трансформатор имеет две ступени грубого регулирования тока. При попарном параллельном соединении катушек, расположенных на двух стержнях, получается ступень больших токов, а при последовательном соединении — ступень малых токов. При последовательном соединении некоторая часть витков первичной обмотки отключается и напряжение холостого хода повышается. Это благоприятно сказывается на стабильности горения дуги на малых токах.

Трансформатор снабжен переключателем диапазонов сварочного тока. Пределы регулирования сварочного тока I_2 обеспечиваются для всех трансформаторов при рабочем напряжении на зажимах трансформатора $U_2 = 20 + 0{,}04\,I$.

На рис. 10 приведены внешние характеристики трансформатора ТД-500. Трансформатор ТД-502, в отличие от трансформатора ТД-500, снабжен конденсатором для компенсации реактивной мощности. Конденсатор смонтирован снаружи кожуха трансформатора и подключен параллельно его первичной обмотке. Все трансформаторы типа ТД близки по конструктивному исполнению и работают при естественной вентиляции.

Трансформаторы типа ТДФ. Трансформаторы ТДФ предназначены для механизированной дуговой сварки под флюсом. Трансформаторы типов ТДФ-1001 и ТДФ-1601 стационарные. Рассчитаны на продолжительный режим работы при принудительном воздушном охлаждении. В основу конструкции сварочного трансформатора типа ТДФ положен трансформатор с магнитным шунтом МШ. Магнито-

провод трансформатора стержневого типа. На рис. 11 приведена конструкция магнитопровода и размещение обмоток трансформатора ТДФ-1001. Сердечник магнитного шунта МШ, на котором размещена обмотка управления с витками $W_у$, расположен перпендикулярно к стержням трансформатора.

На каждом стержне магнитопровода размещены витки W_1 и W_2 обмоток трансформатора. Вторичная обмотка состоит из двух частей: основной части с витками $W_{2осн}$, расположенными у верхнего ярма магнитопровода, и дополнительной части, витки $W_{2доп}$ которой размещены у нижнего ярма. Магнитный шунт МШ расположен на пути стержневых полей рассеяния. Изменяя ток управления $I_у$, можно влиять на магнитное состояние шунта.

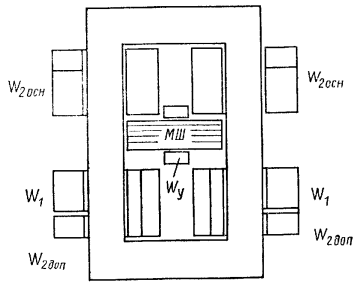


Рис. 11. Конструкция магнитопровода и размещение обмоток у трансформатора ТДФ-1001

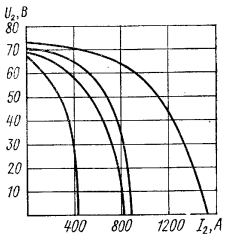


Рис. 12. Внешние характеристики трансформатора типа ТДФ

Трансформаторы типа ТДФ имеют ступенчато-плавное регулирование сварочного тока. Ступенчатое регулирование (две ступени) осуществляется переключением катушек вторичной обмотки. При переходе со ступени меньших токов на ступень больших токов часть витков основной вторичной обмотки отключается и подключается дополнительная часть вторичной обмотки, расположенной в непосредственной близости от витков W_1. При этом индуктивные сопротивления обмоток трансформатора уменьшаются, а сварочный ток увеличивается. Плавное регулирование тока в пределах одной ступени осуществляется подмагничиванием магнитного шунта. Большему току управления соответствует больший сварочный ток и наоборот.

Обмотка управления магнитного шунта получает питание от однотактного тиристорного выпрямителя. Схема фазового управления тиристорами выполнена на транзисторном логическом элементе М403. Техническая характеристика сварочных трансформаторов ТДФ-1001 и ТДФ-1601 приведена в табл. 2. Внешние характеристики даны на рис. 12. В трансформаторах типа ТДФ обеспечивается частичная стабилизация установленного режима при колебаниях напряжения сети в пределах +5 до —10% от номинального значения.

Пределы регулирования сварочного тока I_2 обеспечиваются при рабочем напряжении на зажимах трансформатора, определяемом по формуле для ТДФ-1001 $U_2 = 20 + 0{,}04I_2$ при $I_2 \leqslant 600$ А; $U_2 = 44$ В при $I_2 \geqslant 600$ А; для ТДФ-1601 $U_2 = 50 + 0{,}00625I_2$. Сварочные трансформаторы ТДФ оборудованы пускорегулирующей и защитной аппаратурой. Предусмотрена возможность местного и дистанционного (с пульта управления сварочного автомата) включения и регулирования сварочного тока.

2. Техническая характеристика сварочных трансформаторов ТДФ

Параметр	ТДФ-1001	ТДФ-1601
Климатическое исполнение, категория размещения	У3, Т3	У4
Нижняя температура окружающей среды, °С	—10	+1
Номинальный сварочный ток, А	1000	1600
Пределы регулирования:		
сварочного тока, А	400—1200	600—1800
рабочего напряжения, В	36—44	50—60
Напряжение холостого хода, В не более	80	110
Первичная мощность, кВА	82	182
Напряжение сети, В	220, 380	380
КПД, %	87	88
Габаритные размеры, мм	830×1200×1200	830×1200×1200
Масса, кг не более	720	1000

Примечание. Режим работы продолжительный.

3. Техническая характеристика установок типа УДГ для сварки изделий из легких сплавов

Параметр	УДГ-301	УДГ-501
Номинальный сварочный ток, А	315	500
Пределы регулирования тока, А	15—315	40—500
Первичная мощность, кВА	25	40
Напряжение сети, В	220, 380	380
Габаритные размеры, мм	900×730×1620	
Масса кг, не более	400	500

Примечание. Климатическое исполнение У4; нижняя температура окружающей среды +1° С; режим работы ПВ-60%; номинальное рабочее напряжение 20 В; напряжение холостого хода 75 В.

4. Техническая характеристика горелок, входящих в комплект установок УДГ

Вид горелки	Установка	Предельный сварочный ток, А	Диаметр вольфрамового электрода, мм	Масса (без шлангов), кг
Малая	УДГ-301 УДГ-501	200	0,8—4	0,45
Средняя	УДГ-301 УДГ-501	400	3—6	0,9
Большая (водоохлаждаемая)	УДГ-501	500	5—10	1,1

Установки УДГ для сварки изделий из легких сплавов. Установки УДГ-301 и УДГ-501 рассчитаны на повторно-кратковременный режим работы при принудительном воздушном охлаждении. Сварка производится однофазным переменным током неплавящимся вольфрамовым электродом в среде аргона. Техническая характеристика установки УДГ-301 и УДГ-501 приведена в табл. 3, а горелок установок УДГ — в табл. 4.

На рис. 13 приведена функциональная блок-схема установки УДГ, где *Т* — силовой однофазный понижающий трансформатор; *А* — магнитный усилитель; *УЗК* — устройство для заварки кратера; *С* — батарея конденсаторов в цепи дуги; *ВД* — возбудитель дуги.

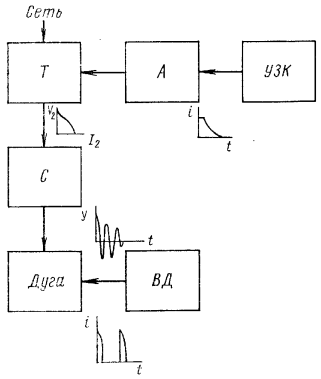


Рис. 13. Функциональная блок-схема установок УДГ для сварки изделий из легких сплавов

Однофазный понижающий сварочный трансформатор *Т* с подмагничиванием шунта формирует крутопадающие внешние характеристики и служит для регулирования сварочного тока. Трансформатор имеет две ступени регулирования: ступень больших токов — при параллельном соединении секций обмоток, расположенных на разных стержнях магнитопровода *Т*, и ступень малых токов — при последовательном соединении. Переключение обмоток производится специальным переключателем. В пределах каждой ступени производится плавное регулирование сварочного тока путем подмагничивания магнитного шунта. Магнитный усилитель *А* предназначен для управления током подмагничивания шунта. Ток в обмотке МШ регулируется резистором в цепи обмотки управления магнитного усилителя. Заварка кратера осуществляется путем плавного снижения сварочного тока в конце процесса сварки. Узел заварки кратера УЗК работает в цепи обмотки управления магнитного усилителя *А*. Время заварки кратера регулируется в пределах 0—30 с. После окончания заварки кратера автоматически выключается сварочный ток.

Батарея электролитических конденсаторов *С* препятствует прохождению постоянной составляющей тока в сварочном контуре.

Блок *ВД* служит для возбуждения дуги с помощью серии высоковольтных высокочастотных знакопеременных импульсов с уменьшающимися амплитудами (осцилляторный режим) и поддержания стабильного горения дуги с помощью низковольтных апериодических импульсов (стабилизаторный режим).

Параметры импульсов: в осцилляторном режиме — начальная амплитуда напряжения 1,5 кВ, собственная частота 3 МГц; в стабилизаторном режиме — амплитуда тока до 80 А, длительность до 60 мкс. Генерация импульсов как в осцилляторном, так и в стабилизаторном режимах происходит 1 раз в период при положительной полярности напряжения на электроде, но со сдвигом во времени 40—60 мкс относительно нулевого значения сварочного тока.

С целью снижения помех радиоприему и телевидению работа устройства в осцилляторном режиме до возбуждения дуги происходит по следующему временному циклу — 0,9 с работа, 10 с пауза.

Установки снабжены пускорегулирующей и защитной аппаратурой и оборудованы газовыми клапанами, ниппелями для подключения газа и воды (УДГ-501), разъемами для подсоединения горелки и провода, идущего к изделию. Подача аргона начинается за 1—5 с до начала сварки и прекращается через 5—30 с после ее окончания

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Общие сведения. Современные источники питания для однопостовой дуговой сварки, серийно выпускаемые отечественной промышленностью, следует разделить на две группы. К первой — относятся сварочные выпрямительные установки, а ко второй — вращающиеся электромашинные преобразователи и агрегаты. Часто для краткости сварочные выпрямительные установки называют сварочными выпрямителями. Это, собственно, статические преобразователи энергии трехфазной сети в энергию выпрямленного тока, используемую для дуговой сварки. Вращающиеся преобразователи состоят из генератора постоянного тока (коллекторного или вентильного) и асинхронного двигателя. Генератор и двигатель у преобразователя имеют общий вал. В последние годы вращающиеся преобразователи вытесняются выпрямительными установками, имеющими по сравнению с ними ряд преимуществ — лучшие технологические свойства и более высокие технико-экономические и эксплуатационные показатели. Сварочные генераторы сохраняют однако свое значение в основном при сварке в полевых условиях в составе сварочных агрегатов с двигателями внутреннего сгорания.

Однопостовые сварочные выпрямители с падающими внешними характеристиками. Выпрямители предназначены для ручной дуговой сварки, резки и наплавки, а также для механизированной сварки под флюсом. Отечественная промышленность выпускает выпрямители ВД-306 на номинальный ток 315 А для ручной сварки и ВД-502 на 500 А для ручной сварки и механизированной сварки подфлюсом. Техническая характеристика выпрямителей ВД-306 и ВД-502 приведена в табл. 5.

5. Техническая характеристика сварочных выпрямителей с падающими внешними характеристиками

Параметр	ВД-306	ВД-502
Климатическое исполнение, категория размещения	У3, Т3	У3
Продолжительность цикла сварки, мин	5	10
Номинальный сварочный ток, А	315	500
Пределы регулирования сварочного тока, А	45—315	50—500
Номинальное рабочее напряжение, В	32,6	40
Напряжение холостого хода, В не более	70	80
Первичная мощность кВА, не более	21	42
КПД, % не менее	70	69
Габаритные размеры, мм	765×735×772	550×805×1062
Масса кг, не более	170	370

Примечание. Нижняя температура окружающей среды —40°С: режим работы ПН = 60%; напряжение сети 220 или 380 В.

Выпрямитель ВД-306 выполнен передвижным, рассчитан на перемежающийся режим работы при принудительном охлаждении. На рис. 14 приведена функциональная блок-схема выпрямителя ВД-306. Упрощенная электрическая схема приведена на рис. 15. Выпрямитель ВД-306 выполнен со ступенчато-плавным регулированием сварочного тока. Ступенчатое (две ступени) регулирование осуществляется одновременным переключением фаз первичных и вторичных обмоток

трансформатора *T1* со звезды на треугольник переключателем *S*. Ступени малых токов соответствует соединение фаз обмоток трансформатора *T1* звездой, а ступени больших токов — треугольником. В пределах каждой ступени производится плавное регулирование тока путем изменения расстояния между катушками обмоток трансформатора *T1*. При сближении катушек индуктивности рассеяния обмоток и их индуктивные сопротивления уменьшаются, а сварочный ток возрастает. При увеличении расстояния между катушками ток уменьшается

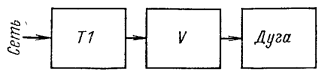


Рис. 14. Функциональная блок-схема выпрямителя ВД-306

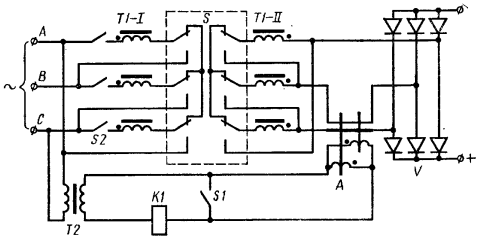


Рис. 15. Упрощенная электрическая схема выпрямителя ВД-306

Катушки первичной обмотки подвижные, а вторичной — неподвижные и закреплены у верхнего ярма магнитопровода трансформатора *T1*. Катушки первичной обмотки трансформатора *T1* перемещаются ходовым винтом вручную. Выпрямитель ВД-306 имеет узел защиты, предотвращающий его от аварии путем размыкания линейных контактов *S2* в случае, если пробит *p—n*-переход одного из вентилей моста *V* или произошел пробой на корпус вторичной обмотки трансформатора *T1*. Узел защиты состоит из магнитного усилителя *A*, вспомогательного трансформатора *T2* и реле *K1*. Рабочие обмотки усилителя *A* соединены параллельно. Обмоткой управления усилителя *A* служат два провода, соединяющие выходные зажимы силового трансформатора *T1* с входными зажимами моста *V*. Провода проходят через окно тороидального сердечника магнитного усилителя *A*. Переменный ток, проходящий по фазным проводам, не насыщает сердечник усилителя *A*. В аварийных режимах, при появлении постоянной составляющей фазных токов в трансформаторе *T1*, сердечник усилителя *A* насыщается и самоблокируется реле *K1*. Выпрямитель ВД-306 отключается от сети магнитным пускателем. Внешние характеристики выпрямителя ВД-306 приведены на рис. 16.

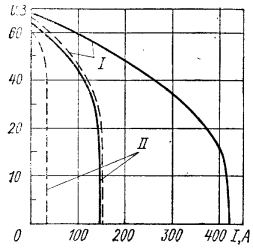


Рис. 16. Внешние характеристики выпрямителя ВД-306: *I* — катушки сдвинуты; *II* — катушки раздвинуты, сплошные кривые — диапазон больших токов; штриховые кривые — диапазон малых токов

Выпрямитель ВД-502 выполнен передвижным, рассчитан на перемежающийся режим работы при принудительном воздушном охлаждении. Техническая характеристика выпрямителя ВД-502 приведена в табл. 5. Для формирования падающей внешней характеристики и плавного регулирования сварочного тока использован дроссель насыщения, включаемый во вторичную цепь силового трансформатора. Выпрямитель ВД-502 стабилизирован. Установленный выпрямленный ток в диапазоне 100—500 А поддерживается с точностью 2,5% при повышении напряжения сети на 5% и с точностью 5% при понижении напряжения сети на 10%.

6. Техническая характеристика сварочных выпрямителей ВДГ

Параметр	ВДГ-302	ВДГ-601
Климатическое исполнение, категория размещения	У3, Т3	У3, Т4
Номинальный сварочный ток, А	315	630
Пределы регулирования:		
сварочного тока, А	50—315	100—700
рабочего напряжения, В	16—38	18—66
Номинальное рабочее напряжение, В	38	66
Напряжение холостого хода, В	55	90
Первичная мощность, кВА	19	69
КПД, %	75	82
Габаритные размеры, мм	748×1045×953	900×1250×1125
Масса, кг	275	570

Примечание. Режим работы ПН = 60%, продолжительность цикла сварки 10 мин, нижняя температура окружающей среды —10° С, напряжение сети 220, 380 В.

Однопостовые сварочные выпрямители с жесткими внешними характеристиками предназначены для механизированной сварки в среде углекислого газа. Отечественная промышленность выпускает однопостовые сварочные выпрямители с жесткими внешними характеристиками типа ВДГ и типа ВСЖ. Выпрямители ВДГ передвижные; рассчитаны на повторно-кратковременный режим работы ПВ = 60% при принудительном воздушном охлаждении.

Выпрямители ВДГ-302 и ВДГ-601 предназначены для комплектации сварочных полуавтоматов унифицированной серии. Техническая характеристика выпрямителей ВДГ приведена в табл. 6.

Функциональная блок-схема выпрямителя ВДГ-302 приведена на рис. 17, а упрощенная электрическая схема — на рис. 18. Выпрямительный блок *V* выполнен на неуправляемых кремниевых вентилях. Регулирование напряжения в выпрямителе плавно-ступенчатое. Ступенчатое регулирование производят путем изменения коэффициента трансформации силового трансформатора *T*.

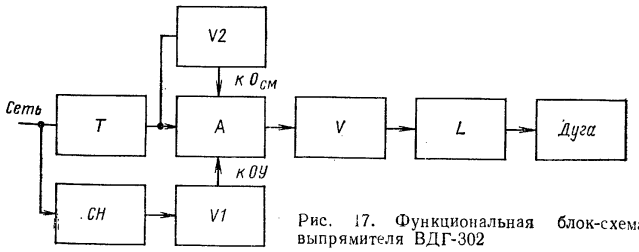


Рис. 17. Функциональная блок-схема выпрямителя ВДГ-302

Плавное регулирование в пределах каждой ступени — дросселем насыщения *А*. Соединению фаз первичной обмотки треугольником с использованием отводов соответствует первая ступень регулирования рабочего напряжения (большие напряжения); соединению фаз обмоток треугольником (без отводов) — вторая

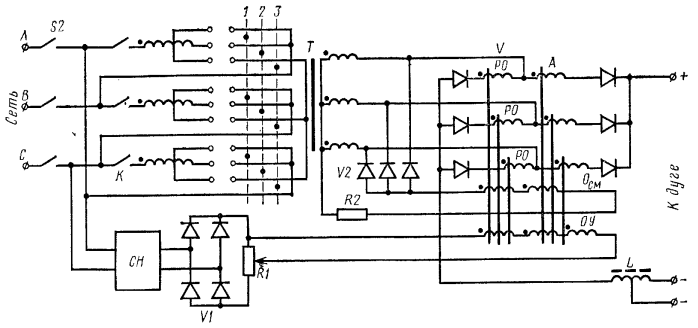


Рис. 18. Упрощенная электрическая схема выпрямителя ВДГ-302

ступень регулирования; соединению фаз обмоток с использованием отводов звездой — третья ступень регулирования. Обмотки переключаются пакетно-кулачковым переключателем *S1* на три рабочих положения

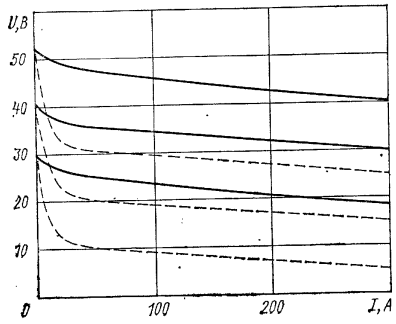


Рис. 19. Внешние характеристики выпрямителя ВДГ-302

Трехфазный дроссель насыщения *А* выполнен на шести ленточных разрезных сердечниках. На каждом сердечнике расположены рабочие обмотки *РО* дросселя. Объединенные попарно сердечники охвачены катушками обмоток управления и смещения. Обмотка управления *ОУ* дросселя насыщения получает питание от феррорезонансного стабилизатора *СН* через блок *V1* и регулировочный резистор *R1*. При понижении напряжения сети напряжение на выходе стабилизатора и ток в обмотке управления увеличиваются, что способствует поддержанию установленного режима сварки. Обмотка смещения $O_{см}$ дросселя насыщения получает питание от вторичных обмоток силового трансформатора через выпрямитель и токоограничивающий резистор *R2*. Линейный дроссель *L* позволяет ступенчато изменять индуктивность сварочной цепи. Включению всех витков *L* соответствует индуктивность порядка 500 мкГ; при включении части витков — 150 мкГ. Выпрямитель снабжен магнитным пускателем *К*, быстродействующим автоматическим выключателем *S2*. Внешние характеристики выпрямителя ВДГ-302 приведены на рис. 19.

Функциональная блок-схема выпрямителя ВДГ-601 приведена на рис. 20. Выпрямитель ВДГ-601 включается на напряжение силовой сети быстродействующим автоматом. Трансформаторы *Т1* и *Т2* включаются магнитными пускателями. Выпрямление переменного напряжения силовой сети происходит в тиристорном преобразователе *ТП*, работа которого управляется блоком фазового управления БФУ. Регулирование и стабилизация выпрямленного напряжения в выпрямителе ВДГ-601 производят посредством БФУ. Отпирающие импульсы от *БФУ* поступают в *ТП* в определенной последовательности. Стабилизация выходного напряжения осуществляется благодаря обратной связи по напряжению. При изменении напряжения сети от +5 до —10% номинального рабочее напряжение на выходе выпрямителя ВДГ-601 поддерживается с точностью ±1 В в диапа-

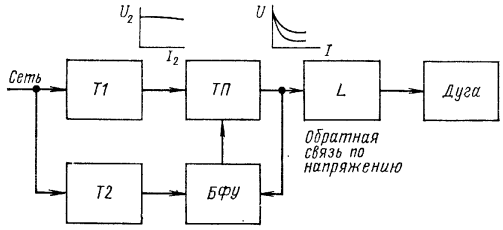


Рис. 20. Функциональная блок-схема выпрямителя ВДГ-601

зоне рабочих напряжений 18—50 В и с точностью ±5 В в диапазоне напряжений 50—66 В. Выпрямитель ВДГ-601 двухрежимный. Он может быть заранее настроен на два режима работы. Малый режим может быть использован для сварки шва в вертикальном положении и для заварки кратера, а большой — для высокопроизводительной сварки шва в нижнем (горизонтальном) положении. Переход с одного режима на другой сопровождается изменением скорости подачи проволоки на двухрежимном сварочном автомате ПДГ-601 и изменением индуктивности *L* в цепи сварочного тока.

Источник питания ВСЖ-303 разработан ИЭС АН УССР им. Е. О. Патона. Предназначен для дуговой сварки плавящимся электродом в среде углекислого газа. В источнике ВСЖ-303 использован трехфазный трансформатор, имеющий магнитную систему особой конструкции. Магнитопровод имеет два ярма с регулируемой магнитной проводимостью (рис. 21). Магнитное состояние средних *СЯ* и верхних *ВЯ* ярм можно изменять. Стержни, на которых расположены обмотки трансформатора, внизу соединены неуправляемыми нижними ярмами *НЯ*. Средние ярма делят окна трансформатора на два окна α и β. Магнитное состояние среднего и верхнего ярм управляется путем подмагничивания их потоками, создаваемыми обмотками *ОУ1* и *ОУ2*, расположенными на этих ярмах.

В окнах α расположены все витки W_1 первичной обмотки и большая часть $W_{2\alpha}$ витков W_2 вторичной обмотки. В верхних окнах β размещены витки $W_{2\beta}$ — остальная часть витков вторичной обмотки. Витки $W_{2\alpha}$ и $W_{2\beta}$ соединены последовательно и согласно при этом $W_{2\beta} < W_{2\alpha}$. Соотношением $W_{2\beta}/W_{2\alpha}$ обеспечивается заданный диапазон регулирования выходного напряжения. На рис. 22 приведена функциональная блок-схема сварочного выпрямителя ВСЖ-303, где *Т* — силовой трехфазный трансформатор, в котором совмещены функции «собственно» трансформатора и регулятора напряжения на выходе источника; *V* — силовой выпрямительный блок, собранный по трехфазной мостовой схеме выпрямления на неуправляемых полупроводниковых вентилях; *БК* — блок

коррекции по току, предназначенный для изменения наклона внешних статических характеристик; *БС* — блок сравнения заданного напряжения с фактическим напряжением на выходе источника. Блок *БС* обеспечивает стабилизацию напряжения, подаваемого к обмоткам подмагничивания верхнего и среднего ярм; *А* — блок усиления токов, питающих обмотки подмагничивания ярм; *L* — индуктивность в цепи выпрямленного сварочного тока. Задаваемое выпрямленное напряжение соответствует вторичному напряжению трансформатора при номинальном напряжении питающей сети. Блок сравнения *БС* напряжения на выходе сварочного выпрямителя представляет собой нелинейный мост. В плечи моста включены резисторы и стабилитроны. С выходных зажимов моста напряжение

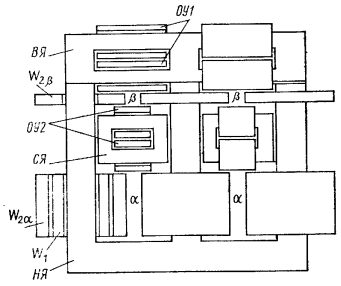


Рис. 21. Устройство магнитной системы и расположение обмоток источника питания ВСЖ-303

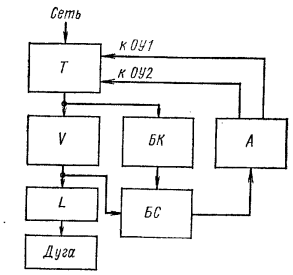


Рис. 22. Функциональная блок-схема сварочного выпрямителя ВСЖ-303

подается на блок *А* для усиления постоянных токов подмагничивания ярм трансформатора. В блок *А* входят бесконтактное полупроводниковое реле на транзисторах, промежуточный транзистор и дифференциальный выходной усилитель, собранный на транзисторах. Выход с нелинейного моста подключен на вход бесконтактного реле, которое через промежуточный транзистор управляет выходным усилителем. В коллекторные цепи транзисторов включены управляющие обмотки верхнего и среднего ярм силового трансформатора. Отдельные узлы сварочного выпрямителя ВСЖ-303 получают питание от силовой сети через вспомогательные выпрямители. Процесс стабилизации выходного выпрямленного напряжения происходит следующим образом. Если напряжение на входе блока *БС* соответствует заданному значению, то нелинейный мост находится в равновесии и напряжение на его выходных зажимах равно нулю. Бесконтактное реле отключено и промежуточный транзистор в цепи обмотки управления *ОУ1* открыт. Магнитный поток обмотки *ОУ1* подмагничивает верхние ярма, уменьшается вторичное фазное напряжение трансформатора *Т* и выходное выпрямленное напряжение выпрямителя ВСЖ-303. В этих условиях нарушается равновесие нелинейного моста; на его выходных зажимах возникает напряжение. Бесконтактное реле включается; открытый транзистор закрывается и открывается другой. Обмотка управления *ОУ2* получает питание. С подмагничиванием средних ярм напряжение на выходных зажимах выпрямителя ВСЖ-303 возрастает, бесконтактное реле и транзистор отключаются, обмотка питания *ОУ1* получает питание, напряжение выпрямителя ВСЖ-303 начинает уменьшаться и т. д. Благодаря некоторой инерционности цепей обмоток управления, определяемой в основном их большими индуктивными сопротивлениями, заданное напряжение поддерживается стабильным. Таким образом, в сварочном выпрямителе ВСЖ-303 путем поочередного

включения обмоток управления *ОУ1* и *ОУ2* регулируют выходное выпрямленное напряжение. Блок коррекции *БК* настраивают так, чтобы наклон стабилизированных внешних характеристик совпадал с наклоном естественных внешних характеристик без работы блока коррекции. В этих условиях сварочный процесс протекает с наименьшим разбрызгиванием металла. Техническая характеристика выпрямителя ВСЖ-303 следующая: режим работы $ПН_{д}$ = 60%; продолжительность цикла сварки 5 мин, номинальный сварочный ток 315 А; номинальное рабочее напряжение 30 В; пределы регулирования рабочего напряжения 9—32 В, напряжение сети 380 В, КПД = 76%.

Универсальные сварочные выпрямители серии ВДУ. Источники питания серии ВДУ называют универсальными сварочными выпрямителями, так как их электрические схемы предусматривают переключения для работы как с жесткими, так и падающими внешними характеристиками. Универсальные сварочные выпрямители серии ВДУ обеспечивают плавное дистанционное регулирование выходных тока и напряжения, стабилизацию режима при изменениях напряжения сети. Выпрямители работают при принудительном воздушном охлаждении. Включение выпрямителей ВДУ в силовую сеть и защита от кратковременных аварийных коротких замыканий в цепях установки осуществляется сетевым автоматическим выключателем, защита от перегрузок в процессе работы — тепловыми реле магнитных пускателей. Сварочные выпрямители серии ВДУ выполняют в однокорпусном исполнении. В схемах ВДУ предусмотрен емкостный фильтр от помех радиоприему, создаваемых при сварке.

Выпрямители серии ВДУ типов ВДУ-305, ВДУ-504 и ВДУ-504-1 выполнены передвижными; предназначены для однопостовой механизированной сварки плавящимся электродом изделий из стали в среде углекислого газа, а также для ручной дуговой сварки штучными электродами. Выпрямитель ВДУ-504-1

7. Техническая характеристика сварочных выпрямителей серии ВДУ

Параметр	ВДУ-305	ВДУ-504	ВДУ-1201	ВДУ-1601
Климатическое исполнение, категория размещения	У3	У3, Т3	У3, Т3	У3
Нижняя температура окружающей среды для исполнения У, °С	—40	—40	—30	—30
Режим работы ПВ, %	60	60	Продолжительный	
Продолжительность цикла сварки, мин	10	10	—	—
Номинальный сварочный ток, А	315	500	1250	1600
Пределы регулирования:				
сварочного тока, А:				
жесткие	50—315	100—500	300—1250	500—1600
падающие	20—315	70—500		600—1600
рабочего напряжения, В:				
жесткие	16—38	18—50	24—66	26—66
падающие	21—33	23—46	26—60	30—66
Напряжение холостого хода, В не более	70	80	100	100
Первичная мощность, кВА	23	40	120	155
Напряжение сети, В	220, 380	220, 380	380	380
КПД, % не менее	70	82	83	84
Габаритные размеры, мм	634×975×760	1100×800×940	1400×850×1250	1150×900×1850
Масса, кг не более	240	380	850	950

8. Точность стабилизации выходных параметров

Отклонение напряжения сети, % от номинального	Рабочее напряжение при жестких внешних характеристиках			Сварочный ток при падающих внешних характеристиках		
	ВДУ-305	ВДУ-504	ВДУ-1201, ВДУ-1601	ВДУ-305	ВДУ-504	ВДУ-1201, ВДУ-1601
+5	±2,5%	±1 В	±1 В	±2,5%	±3%	±2,5%
−5	—	—	±1 В	—	—	±2,5%
−10	±5%	±1 В	—	±5%	±5%	—

используют для комплектации унифицированных сварочных полуавтоматов. Выпрямители ВДУ-1201 и ВДУ-1601 — стационарные; их перемещают с помощью подъемных средств. Сварочные выпрямители ВДУ-1201 и ВДУ-1601 предназначены для сварки в среде защитных газов и под флюсом, сварки открытой дугой и порошковой проволокой на автоматах с зависимой и независимой от напряжения дуги скоростью подачи электродной проволоки.

Техническая характеристика сварочных выпрямителей серии ВДУ приведена в табл. 7. При отклонениях

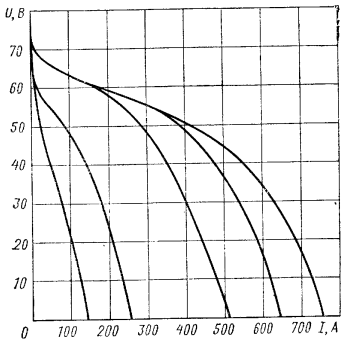


Рис. 23 Внешние характеристики падающей формы выпрямителя ВДУ-504

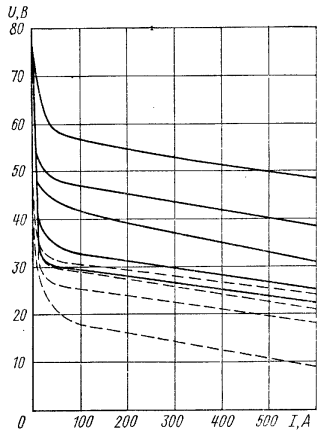


Рис. 24. Жесткие внешние характеристики выпрямителя ВДУ-504: сплошные линии — первый диапазон; штриховые линии — второй диапазон

напряжения сети от номинального значения выпрямители серии ВДУ осуществляют стабилизацию выходных параметров как при падающих, так и при жестких внешних характеристиках. В табл. 8 приведены данные, характеризующие точность стабилизации выходных параметров выпрямителей серии ВДУ при изменениях напряжения сети.

Выпрямители ВДУ-305 и ВДУ-504 могут работать как с падающими (рис. 23), так и с жесткими внешними характеристиками (рис. 24). Функциональная блок-

схема выпрямителей ВДУ-305 и ВДУ-504 приведена на рис. 25. В силовой тиристорный выпрямитель СТВ (рис. 26) входит трансформатор *Т1*, имеющий две вторичных обмотки *Т1 — II*, соединенные в две обратные звезды, через уравнительный реактор $L_{ур}$. В блок СТВ входят шесть тиристоров *V1 — V6*, которые включены последовательно с фазами вторичных обмоток трансформатора *Т1*. Фазы первичной обмотки *Т1 — I* в зависимости от требуемого режима соединяются с помощью пакетно-кулачкового переключателя либо треугольником, либо звездой. Соединение треугольником производят при установке выпрямителя ВДУ-504 на работу с внешними характеристиками падающей формы и для первого ступенчатого регулирования при установке на работу с жесткими внешними характеристиками. Соединение звездой производят для второго диапазона при установке на работу с жесткими внешними характеристиками. Катоды тиристоров *V1—V6* соединены вместе и образуют положительный зажим (полюс) выпрямителя ВДУ-504. Отрицательный зажим (полюс) — средняя точка уравнительного реактора $L_{ур}$. Линейный дроссель *L* в цепи выпрямленного тока сглаживает его пульсации и уменьшает разбрызгивание металла при сварке. Дроссель имеет два вывода *1* и *2* (см. рис. 26); первый — соответствует большей индуктивности и его используют при работе с внешними характеристиками падающей формы и на первом диапазоне жестких характеристик; второй вывод используют на втором диапазоне с жесткими характеристиками.

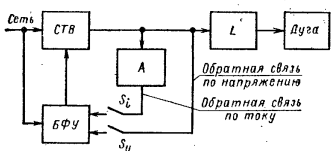


Рис. 25. Функциональная блок-схема выпрямителей ВДУ-504 и ВДУ-305: *СТВ* — силовой тиристорный выпрямитель; *L* — дроссель в цепи выпрямленного тока; *А* — магнитный усилитель; *БФУ* — блок фазового управления

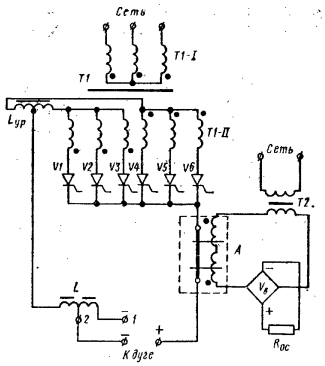


Рис. 26. Упрощенная электрическая схема силовой цепи сварочных выпрямителей ВДУ-504 и ВДУ-305

Для получения внешних характеристик падающей формы в выпрямителях ВДУ-305 и ВДУ-504 используется обратная связь по току. Тумблер S_i на рис. 25 при этом включен. В качестве датчика сварочного тока используют магнитный усилитель *А* на тороидальных сердечниках. Через окно сердечника пропущен провод, по которому идет выпрямленный сварочный ток. Этот провод с током является обмоткой управления магнитного усилителя *А*. Рабочие обмотки магнитного усилителя включены последовательно с однофазным выпрямительным мостом $V_в$ на вторичное напряжение вспомогательного трансформатора *Т2*. Сигнал обратной связи, пропорциональный сварочному току, снимается с резистора $R_{ос}$, включенного на выходе однофазного выпрямителя, собранного по мостовой схеме. Для получения жестких внешних характеристик в выпрямителях ВДУ-305 и ВДУ-504 используется обратная связь по выходному выпрямленному напряжению (на рис. 25 включен тумблер $S_н$).

Выпрямители ВДУ-1201 и ВДУ-1601 могут работать как с внешними характеристиками падающей формы, так и жесткими внешними характеристиками (рис. 27 и 28). Функциональная блок-схема ВДУ-1201 и ВДУ-1601 приведена на рис. 29. Упрощенная электрическая схема силовой цепи сварочных выпрямителей ВДУ-1201 и ВДУ-1601 приведена на рис. 30.

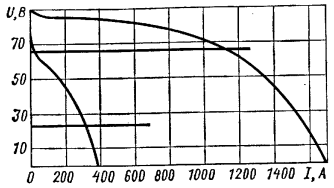


Рис. 27. Внешние характеристики выпрямителя ВДУ-1201

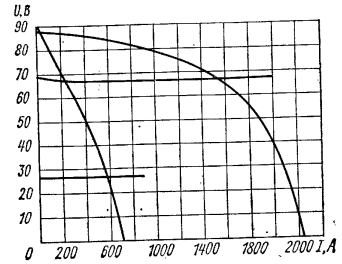


Рис. 28. Внешние характеристики выпрямителя ВДУ-1601

В силовой тиристорный выпрямитель *СТВ* входит трехфазный трансформатор *Т1* с нормальным магнитным рассеянием. Трансформатор *Т1* имеет одну первичную обмотку и две вторичные обмотки, соединенные звездами. Концы фаз *A*, *B* и *C* одной вторичной обмотки объединены в нейтраль *N* и образуют отрицательный полюс (зажим), а концы фаз *A'*, *B'* и *C'* другой вторичной обмотки, объединенные в нейтраль *N'*, образуют положительный полюс (зажим) выпрямителя ВДУ. Назначение индуктивности (дросселя) *L* сглаживать пульсации выпрямленного сварочного тока и улучшать динамические свойства источника питания типа ВДУ. Дроссель *L* состоит из секций *L'* и *L''*. Схемы включения секций дросселя для ВДУ-1601 и ВДУ-1201 приведены соответственно на рис. 31, *а* и *б*.

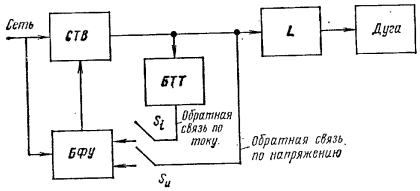


Рис. 29. Функциональная блок-схема выпрямителей ВДУ-1601 и ВДУ-1201:
СТВ — силовой тиристорный выпрямитель; *L* — дроссель в цепи выпрямленного тока; *БТТ* — блок трансформаторов тока; *БФУ* — блок фазового управления

Работой выпрямителей ВДУ-1201 и ВДУ-1601 управляет блок *БФУ*, представляющий собой систему фазового управления моментом отпирания тиристоров *V1—V6* тиристорного выпрямителя *СТВ*. Блок *БФУ* состоит из трех узлов, выполняющих определенные функции: входного устройства, фазосдвигающего устройства и устройства формирования и усиления сигналов, отпирающих тиристоры *V1—V6*. Входное устройство содержит вспомогательный трансформатор управления для получения опорного напряжения, синхронизированного с сетью. Фазосдвигающее устройство обеспечивает изменение фазы управляющих сигналов относительно фазы напряжения сети. Обратная связь по сварочному току осуществляется с помощью блока трансформаторов тока БТТ (см. рис. 29 и 30), имеющих тороидальные ферромагнитные сердечники. Вторичные обмотки трансформаторов тока соединены треугольником и через трехфазный мостовой выпрямитель подключены к резистору $R_{ос}$, с которого снимается напряжение обратной связи по току. При установке сварочных выпрямителей ВДУ-1201 и ВДУ-1601 на работу с жесткими внешними характеристиками действует обратная связь по выпрямленному напряжению. Включение обратной связи по току или напряжению производят тумблерами S_i или S_u (см. рис. 29).

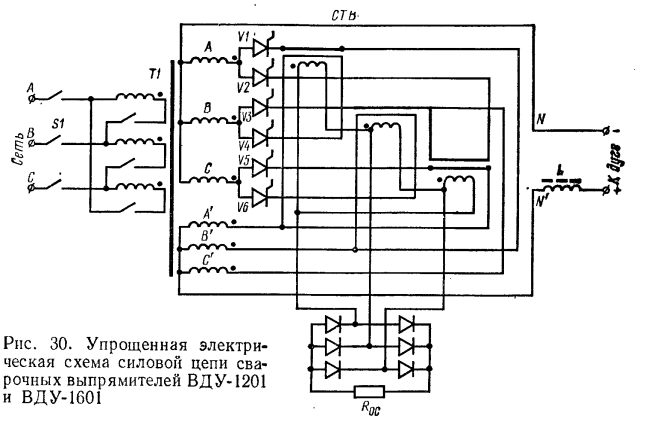


Рис. 30. Упрощенная электрическая схема силовой цепи сварочных выпрямителей ВДУ-1201 и ВДУ-1601

Сварочные генераторы. Сварочные однопостовые генераторы относятся к специальному виду генераторов постоянного тока. Магнитные системы и расположение обмоток возбуждения сварочных генераторов отличаются от магнитных систем и расположения обмоток генераторов постоянного тока общепромышленного исполнения. Коллекторные сварочные генераторы могут работать нормально только при направлении вращения, указанном стрелкой на подшипниковом щите генератора предприятием-изготовителем. В коллекторных сварочных генераторах, так же как и в генераторах общепромышленного исполнения, переменная ЭДС, индуктируемая в якоре, выпрямляется во вращающемся контактном устройстве, называемом коллектором.

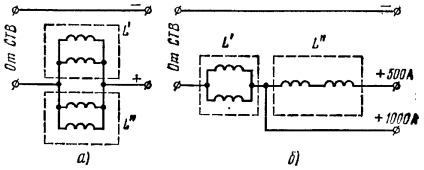
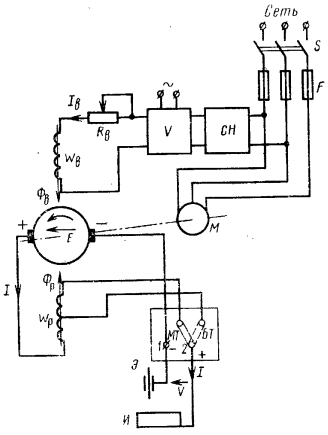


Рис. 31. Схемы включения секций обмотки дросселя *L* у выпрямителя ВДУ-1601 (*а*) и у выпрямителя ВДУ-1201 (*б*)

К сварочным генераторам независимого возбуждения с размагничивающей последовательной обмоткой относится генератор ГСО-500. Он имеет две обмотки возбуждения: намагничивающую независимого возбуждения и размагничивающую последовательную. Внешние характеристики ГСО-500 — падающей формы. Генератор ГСО-500 входит в состав преобразователя ПД-501, предназначенного

для механизированной сварки под флюсом и для ручной дуговой сварки. Приводным двигателем служит трехфазный асинхронный двигатель. У генератора ГСО-500 магнитная система и расположение катушек обмоток возбуждения асимметричны. Генератор имеет четыре основных полюса $N—S—N—S$, на которых размещены обмотки возбуждения и два дополнительных полюса ($s—s$), предназначенных для обеспечения условий безыскровой работы щеток. Катушки намагничивающей обмотки независимого возбуждения (витки $w_в$) расположены на основных полюсах полярности $N—N$, а катушки размагничивающей (витки $w_р$) обмотки — на основных полюсах полярности $S—S$.



На рис. 32 приведена принципиальная электрическая схема двухполюсного

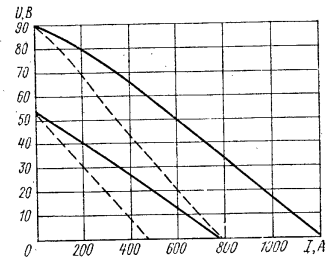


Рис. 32. Принципиальная электрическая схема генератора ГСО независимого возбуждения с размагничивающей последовательной обмоткой

Рис. 33. Внешние характеристики генератора ГСО-500 независимого возбуждения с размагничивающей последовательной обмоткой. Сплошными линиями показаны внешние характеристики при установке генератора на ступень больших токов, штриховыми — характеристики при установке генератора на ступень малых токов

генератора ГСО. Дополнительные полюсы не показаны. Обмотка независимого возбуждения ($w_в$) получает питание от выпрямительного блока V через феррорезонансный стабилизатор напряжения CH. Напряжение сети стабилизируется при изменении его величины в пределах ±3%. Магнитодвижущая сила (МДС) намагничивающей обмотки $w_в I_в$ создает поток $Ф_в$, а МДС последовательной обмотки $w_р I$ — размагничивающий поток $Ф_р$, направленный встречно потоку $Ф_в$. Падающая внешняя характеристика генератора формируется вследствие уменьшения результирующего потока генератора с ростом тока I. При этом уменьшаются электродвижущая сила E, индуктируемая в якоре, и напряжение U на выходных зажимах генератора. Регулирование сварочного тока ступенчато-плавное. Установка двух ступеней регулирования производится переключениями перемычки на клеммной доске.

Ступень больших токов соответствует меньшему числу витков $w_р$, ступень малых токов — всем виткам $w_р$. Изменение числа витков $w_р$ не влияет на напряжение холостого хода генератора. В пределах каждой ступени плавное регулирование сварочного тока производится путем изменения тока $I_в$ в обмотке независимого возбуждения с помощью резистора $R_в$. Возрастание тока $I_в$ ведет к увеличению напряжения холостого хода и сварочного тока. На рис. 33 приведены внешние характеристики генератора. При необходимости плавного дистанционного регулирования сварочного тока резистор $R_в$ (см. рис. 32) можно снять с преобразователя и регулировать сварочный ток на расстоянии 20 м от генератора.

Техническая характеристика преобразователя ПД-501 следующая: климатическое исполнение, категория размещения У2; нижняя температура окружающей среды—40° С; режим работы ПН=60%; продолжительность цикла сварки 10 мин; номинальный сварочный ток 500 А; пределы регулирования сварочного тока 125—500 А; номинальное рабочее напряжение 40 В; напряжение холостого хода 90 В; тип генератора ГСО-500; тип двигателя — трехфазный асинхронный, марки АВ2-71-2-В; мощность двигателя 30 кВт; напряжение сети 220/380 В; частота вращения 2900 об/мин; номинальный КПД 59%; габаритные размеры 1075×1085 × 650 мм; масса 545 кг.

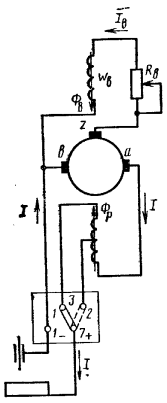
Генератор и двигатель находятся в одном корпусе на колесах для передвижения по ровной поверхности.

Сварочный генератор ГСО-300 с самовозбуждением с размагничивающей последовательной обмоткой однопостовой; имеет внешние падающие характеристики. Генератор входит в состав сварочных агрегатов с бензиновыми двигателями АСБ-300МУ1, АСБ-300-7У1, АДБ-309У1, АДБ-311У1, АДБ-311Т1 и с дизельными двигателями АСД-300МУ1, АДД-303У1, АДД-304У1, АДД-305У1, а также в состав преобразователей ПСО-300-2У2, ПСО-300-2Т2 и ПСО-315МУ2. Все агрегаты предназначены для ручной дуговой сварки и резки металлов в полевых условиях, а преобразователи — для ручной дуговой сварки, наплавки и резки металлов открытой дугой в атмосфере воздуха, а также для механизированной сварки под флюсом. Генератор с самовозбуждением менее чувствителен к кратковременным снижениям (порядка 10%) напряжения силовой сети, чем генератор с независимым возбуждением.

Принципиальная электрическая схема двухполюсного генератора ГСО-300 приведена на рис. 34. Намагничивающая обмотка возбуждения генератора получает питание от половины напряжения, снимаемого с якоря генератора. Для этой цели посередине между основными щетками a и b (+ и —) установлена дополнительная щетка z. Используя действие поперечной реакции якоря, несмотря на наличие размагничивающего поля последовательной обмотки, на щетках zb напряжение U_{zb} практически не зависит от сварочного тока и используется для питания намагничивающей обмотки возбуждения.

Магнитная система и расположение катушек обмоток возбуждения генератора асимметричны. Генератор имеет четыре основных полюса с чередующейся полярностью $N—S—N—S$, на которых размещены катушки обмоток возбуждения и два дополнительных полюса $s—s$, предназначенных для создания условий безыскровой работы основных щеток. Для безыскровой работы дополнительной щетки посередине полюсных наконечников основных полюсов сделаны глубокие и широкие вырезы. Катушки намагничивающей обмотки (витки $w_в$) расположены на основных полюсах полярности $N—N$, а катушки размагничивающей последовательной обмотки (витки $w_р$) — на основных полюсах полярности $S—S$. Для установки двух ступеней сварочного тока от витков $w_р$ сделан отвод на клеммную доску. При протекании сварочного тока по обмотке якоря создается поток поперечной реакции якоря. Формирование падающей внешней характеристики у генератора ГСО-300 с самовозбуждением создается за счет размагничивающего действия последовательной обмотки с использованием взаимодействия магнитных полей обмоток возбуждения и поперечной реакции якоря. Регулирование сварочного тока у генератора ГСО-300 ступенчато-плавное. Ступенчатое (две ступени) регулирование — малые токи (100—180 А) и большие токи (180—315 А) — осуществляется переключением числа витков $w_р$ на клеммной доске в режиме холостого хода, плавное регулирование в пределах каждой ступени— посредством резистора $R_в$ в цепи намагничивающей обмотки. Внешние характеристики гене-

ратора ГСО-300, входящего в состав преобразователя ПСО-300, приведены на рис. 35. Техническая характеристика преобразователя ПСО-300 следующая: климатическое исполнение, категория размещения У2; нижняя температура окружающей среды —40° С, режим работы ПН=60%; номинальный сварочный ток 315 А; пределы регулирования сварочного тока 115—315 А; рабочее напряжение при номинальном сварочном токе 32 В; напряжение холостого хода 80 В; продолжительность цикла сварки 5 мин; мощность генератора 10 кВт; приводной двигатель преобразователя — встроенный трехфазный асинхронный с короткозамкнутым ротором с частотой вращения 2915 об/мин; габаритные размеры 1069×620×1028 мм; масса 435 кг.



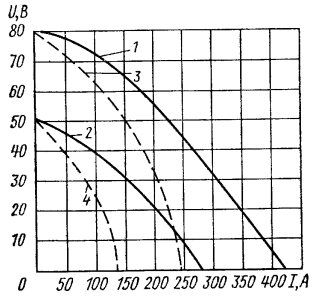


Рис. 34. Принципиальная электрическая схема генератора ГСО-300 с самовозбуждением с размагничивающей последовательной обмоткой

Рис. 35. Внешние характеристики генератора ГСО-300 с самовозбуждением и с размагничивающей последовательной обмоткой:
1 и *2* — ступень больших токов; *3* и *4* — ступень малых токов; *1* и *3* — при выведенном резисторе $R_в$; *2* и *4* — при введенном резисторе

Сварочный генератор ГСО-300 входит в состав агрегатов (см. стр. 69), у которых приводом служит либо бензиновый, либо дизельный двигатель. Габаритные размеры и масса агрегата больше, чем размеры и масса преобразователя. Мощность двигателя агрегата указывается в лошадиных силах, а частота вращения его вала должна быть равна частоте вращения, на которую рассчитан генератор.

Кроме генератора ГСО-300 с самовозбуждением отечественная промышленность выпускает генератор СГП-3. Принцип работы и принципиальная электрическая схема генератора СГП-3 такие же, как у генератора ГСО-300. Внешние характеристики падающей формы.

Генератор СГП-3 входит в состав сварочных агрегатов АСДП-500 с дизельным и в ПАС-500 с автомобильным двигателями. Агрегат АДСП-500 передвижного типа на колесах предназначен для ручной дуговой сварки и резки токами от 120 до 500 А; агрегат ПАС-400-У111 предназначен для дуговой сварки металлическим электродом в атмосфере воздуха токами от 120 до 600 А; агрегат ПАС-400-У1 предназначен для дуговой сварки и резки металлическим электродом в атмосфере воздуха и под водой.

В связи с особыми требованиями технологии сварки большим сварочным током конструкция магнитной системы и расположение катушек обмоток возбуждения на основных полюсах у генератора СГП-3 несколько отличаются от конструкции и расположения катушек у генератора ГСО-300. У генератора СГП-3 четыре дополнительных полюса (*n—s—n—s*) и катушки намагничивающей обмотки расположены на всех четырех основных полюсах (*N—S—N—S*). Формирование внешней характеристики у генератора СГП-3 создается так же, как и у генератора ГСО-300. Регулирование тока ступенчато-плавное. Путем переключения числа витков последовательной размагничивающей обмотки на клеммной

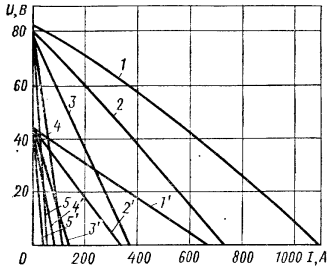


Рис. 36. Внешние характеристики падающей формы универсального сварочного генератора независимого возбуждения с последовательной обмоткой встречного включения:
1—5 — резистор $R_в$ полностью выведен;
1'—5' — резистор полностью введен

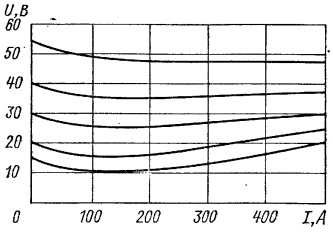


Рис. 37. Жесткие внешние характеристики универсального сварочного генератора независимого возбуждения ГД-502 с отключенной последовательной обмоткой

доске устанавливается ступень малых токов до 400 А и больших до 600 А. Плавное регулирование сварочного тока в пределах каждой ступени производится посредством резистора $R_в$ в цепи намагничивающей обмотки. Агрегаты имеют центробежный регулятор скорости. У агрегата ПАС-400 с помощью регулятора снижается напряжение холостого хода генератора до 24 В во избежание поражения водолаза — сварщика током при перерывах в работе.

К универсальным сварочным генераторам независимого возбуждения и с последовательной размагничивающей обмоткой относятся однопостовые генераторы ГД-502 и ГСУМ-400. При включении намагничивающей обмотки независимого возбуждения и последовательной обмотки встречного включения генератор имеет внешние характеристики падающей формы (рис. 36). При включении последовательной обмотки генератор ГД-502 используют для ручной дуговой сварки, резки и наплавки, а также для механизированной сварки под флюсом. Принципиальная электрическая схема и принцип действия генератора ГД-502 при падающей форме внешних характеристик аналогичны схеме и принципу действия генератора ГСО-500. При отключенной последовательной размагничивающей обмотке генератор ГД-502 имеет жесткие внешние характеристики, приведенные на рис. 37; он используется для механизированной сварки в среде защитных газов. Регулирование выходного напряжения производится с помощью резистора $R_в$. Конструкция магнитной системы и расположение катушек обмоток на основных полюсах подобны конструкции и расположению обмоток у генератора ГСО-500.

В качестве приводного двигателя для генератора ГД-502 может быть использован либо трехфазный асинхронный, либо автомобильный двигатели. Обмотка независимого возбуждения получает питание от сети переменного тока напряжением 220 В через выпрямительный блок. Клеммная доска генератора имеет зажимы, с помощью которых обеспечивается переключение схемы генератора на требуемую технологией форму внешних характеристик и режим сварки. Регулирование сварочного тока при схеме генератора, обеспечивающей падающую форму внешней характеристики, ступенчатое и плавное; ступенчатое — осуществляется изменением числа витков $w_р$ последовательной обмотки, а плавное — дистанционно с помощью резистора, включенного в цепь обмотки независимого возбуждения. Генератор имеет четыре ступени сварочного тока при установке на работу с падающими внешними характеристиками. Эти ступени достигаются путем изменения числа витков последовательной обмотки (225—500, 125—400, 60—200 и 15—30 А). При установке генератора на работу с жесткими внешними характеристиками имеется две ступени регулирования выходного напряжения генератора (15—30 и 25—50 В), которые получают переключением витков вторичной обмотки трансформатора, вторичное напряжение которого подведено к выпрямителю, подающему напряжение к обмотке независимого возбуждения генератора. Плавное дистанционное регулирование выходного напряжения генератора при жестких внешних характеристиках производится резистором $R_в$ в обмотке независимого возбуждения генератора.

Генератор ГСУМ-400 входит в состав агрегатов АСУМ-400. Агрегаты имеют приводной трехфазный асинхронный двигатель, соединенный с валом генератора ГСУМ-400 эластичной муфтой. Принцип действия, принципиальная электрическая схема, конструкция магнитной системы и расположение катушек обмоток возбуждения генератора ГСУМ-400 такие же, как у генератора ГСО-500. При включении размагничивающей последовательной обмотки генератор ГСУМ-400 имеет внешние характеристики падающей формы; его используют для ручной дуговой сварки в воздухе и под водой. При отключенной размагничивающей последовательной обмотке возбуждения генератор ГСУМ-400 имеет жесткие внешние характеристики. Обмотка независимого возбуждения получает питание от трехфазной сети переменного тока (50 Гц) через однофазный трансформатор — стабилизатор и выпрямительный блок. Трансформатор-стабилизатор обеспечивает стабильность напряжения на вторичной обмотке трансформатора в пределах ±4% при изменениях напряжения сети в пределах ±10%. При установке на работу с падающими внешними характеристиками генератор имеет две ступени регулирования сварочного тока (ступень малых токов и ступень больших токов). Переключение витков производят на клеммной доске. В пределах каждой ступени плавное дистанционное регулирование сварочного тока осуществляется резистором в цепи обмотки независимого возбуждения. При установке генератора ГСУМ-400 на работу с жесткими внешними характеристиками имеется две ступени выходного напряжения генератора (25—45 и 40—70 В). В пределах каждой ступени плавное регулирование выходного напряжения осуществляется с помощью регулируемого резистора $R_в$ в обмотке независимого возбуждения. Поскольку при подводной сварке и резке опасным для водолаза-сварщика является напряжение выше 30 В, а при холостом ходе напряжение между электродом и изделием достигает 100 В, то при смене электродов, а также при окончании работ и подъеме на поверхность воды сварщик должен перевести переключатель полярности в положение выключено, при котором независимое возбуждение отключается полностью.

9. Техническая характеристика генератора ГД-502 и агрегата АСУМ-400

Параметр	ГД-502	АСУМ-400
Режим работы ПН, %	60	65
Номинальный сварочный ток, А	500	400
Номинальное рабочее напряжение, В	40	70
Пределы регулирования:		
сварочного тока, А	15—150	100—400
рабочего напряжения, В	15—50	25—70
Напряжение холостого хода, В	90	100
Частота вращения, об/мин	3000	2925
Габаритные размеры, мм	950×750×500	1660×990×620
Масса, кг	400	850

Примечание. Продолжительность цикла сварки 10 мин.

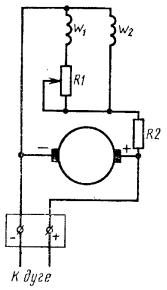


Рис. 38. Принципиальная электрическая схема сварочного генератора ГСГ-500-1

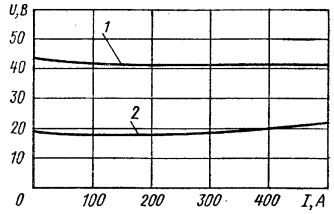


Рис. 39. Внешние характеристики генератора ГСГ-500-1 при разных сопротивлениях резистора *R1*:
1 — наименьшем; *2* — наибольшем

Генератор ГСУМ-400 и асинхронный двигатель смонтированы на общей раме в брызгозащитном исполнении. Техническая характеристика генератора ГД-502 и агрегата АСУМ-400 приведена в табл. 9.

Сварочный генератор ГСГ-500-1 входит в состав преобразователя ПСГ-500-1. Предназначен генератор для питания дуги постоянным током при механизированной сварке плавящимся электродом в углекислом газе с постоянной скоростью подачи электродной проволоки. Преобразователь имеет встроенный трехфазный асинхронный двигатель. Генератор ГСГ-500-1 с самовозбуждением. Имеет жесткие внешние характеристики, что достигается применением специальной схемы самовозбуждения. Магнитная система генератора имеет четыре основных полюса (N—$S_н$—$N_н$—S) и четыре добавочных (n—s—n—s), обеспечивающих безыскровую работу щеток. Надежное самовозбуждение при минимальных напряжениях холостого хода обеспечивается тем, что одна пара основных полюсов ($N_н$—$S_н$) имеет вырезы в сердечниках, вследствие чего эти полюсы при работе генератора насыщены. Катушки обмотки возбуждения (витки w_1), расположенные (рис. 38) на ненасыщенных полюсах (N—S), и катушки обмотки возбуждения (витки w_2) насыщенных полюсов ($N_н$—$S_н$) включены параллельно. Регулирование выходного напряжения генератора осуществляется резистором *R1*, включенным в цепь обмотки возбуждения, расположенной на ненасыщенных полюсах. Сварочный генератор ГСГ-500-1 имеет пределы изменения выходного напряжения от 16 до 40 В при токах от 60 до 500 А.

Параллельные ветви обмотки возбуждения присоединены к щетке «+» через резистор *R2*. Сопротивление резистора *R2* устанавливает предприятие-изготовитель таким, чтобы при выходном напряжении 16 В сварочный ток был равен 60 А.

На рис. 39 приведены внешние характеристики генератора ГСГ-500-1.

Техническая характеристика ГСГ-500-1 следующая: номинальный сварочный ток 500 А; пределы регулирования сварочного тока 60—500 А; рабочее напряжение при номинальном сварочном токе 40 В; пределы регулирования напряжения 16—40 В; режим работы ПН = 60%; напряжение сети 220, 380 В.

Сварочный генератор ГСМ-500 смешанного возбуждения для питания двух постов входит в состав агрегата АСДП-500. Агрегат имеет дизельный двигатель, соединенный с генератором эластичной муфтой. Генератор и двигатель смонтированы на общей раме и установлены на автомобильном прицепе. Магнитная система генератора выполнена так же, как у генератора смешанного возбуждения общепромышленного назначения. Магнитные потоки параллельной и последовательной обмоток складываются. Внешняя характеристика генератора жесткая (рис. 40). Выходное напряжение при изменениях нагрузки поддерживается на уровне номинального, равного 55 В, с точностью ±5%. Сварочные посты включают параллельно выходным зажимам генератора. Номинальный сва-

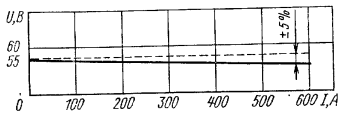


Рис. 40. Внешняя характеристика генератора ГСМ-500 смешанного возбуждения

рочный ток генератора 600 А с учетом коэффициента одновременности работы постов. Формирование падающей характеристики поста и ступенчатое регулирование тока поста в пределах 100—300 А осуществляется с помощью балластных резисторов РБ-301, включаемых последовательно с дугой. Напряжение генератора регулируется плавно резистором в обмотке параллельного возбуждения; этим обеспечивается минимальное напряжение генератора с точностью ±3% при номинальной частоте вращения якоря. Двигатель агрегата снабжен центробежным регулятором частоты вращения. Номинальная частота вращения якоря генератора 1500 об/мин. Габаритные размеры агрегата 6350×2785×2350 мм; масса 4550 кг.

Вентильные сварочные генераторы. Вентильные сварочные генераторы входят в состав сварочных агрегатов АДБ с двигателями внутреннего сгорания и в состав преобразователя ПД с асинхронным двигателем. Сварочные агрегаты предназначены для питания одного поста при ручной дуговой сварке, резке и наплавке металлов постоянным током в полевых условиях на открытом воздухе на высоте над уровнем моря до 1000 м. Агрегат АДБ-318 предназначен для работы при температуре окружающей среды от —45 до +40° С и относительной влажности среды не более 80% при +20° С. Преобразователь ПД предназначен для дуговой сварки в заводских условиях при наличии в цехе трехфазной силовой сети. Генератор может работать только при направлении вращения ротора, указанном стрелкой заводом-изготовителем.

Принципиальная электрическая схема вентильного сварочного генератора ГД-312 приведена на рис. 41. Вентильный генератор с самовозбуждением состоит из индукторного пульсационного синхронного генератора повышенной частоты особой конструкции и бесконтактного выпрямительного устройства *V*. На статоре индукторного генератора расположена трехфазная силовая обмотка. На роторе вентильного генератора обмотки нет. Индукторный ротор вентильного генератора представляет собой два пакета из электротехнической стали, расположенных на общем валу и имеющих полюсы. Полюсы одного пакета сдвинуты на π электрических градусов относительно полюсов второго пакета. Ротор является индуктором синхронного генератора. Неподвижная обмотка возбуждения *OB* крепится к корпусу генератора. Она размещена между двумя пакетами ротора. Магнитный поток, созданный обмоткой возбуждения, замыкающийся через пакеты ротора, обусловливает их полярность. Один пакет обладает полярностью N, а другой S. Фазы статорной обмотки сдвинуты по окружности статора на $2\pi/3$

электрических градусов. Вращающееся магнитное поле ротора, созданное обмоткой *OB*, пронизывает витки фаз обмотки статора. Магнитное поле периодически изменяет свою величину. В результате этого в каждой фазе обмотки статора наводятся переменные ЭДС, которые сдвинуты относительно друг друга на $2\pi/3$ электрических градусов. Переменные фазные ЭДС генератора имеют повышенную

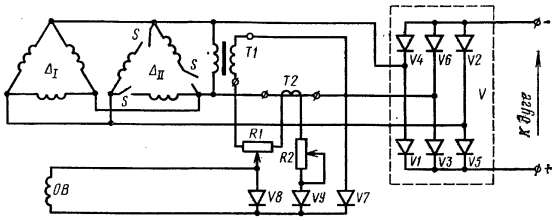


Рис. 41. Принципиальная электрическая схема вентильного генератора ГД-312 с самовозбуждением

частоту (200 или 400 Гц), что определяется числом пар полюсов индукторного ротора, которое равно шести или восьми, и частотой вращения приводного двигателя. Трехфазные переменные ЭДС преобразуются в выпрямительном блоке *V* в постоянную ЭДС. Фазы статорной обмотки соединены треугольником Δ_I. Фазные напряжения статорной обмотки подведены на вход выпрямительного блока *V*, который собран на неуправляемых вентилях *V1—V6* по трехфазной мостовой схеме выпрямления.

Вентильный сварочный генератор ГД обладает естественными внешними характеристиками падающей формы (рис. 42), которые получаются вследствие больших реактивных сопротивлений фаз обмотки статора генератора. Для величины реактивных сопротивлений имеет значение степень насыщения магнитной цепи индукторов ротора и конструктивные параметры генератора. При пуске, когда генератор не нагружен, а вал двигателя начал вращаться, на зажимах фаз обмотки статора появляется небольшое напряжение порядка 7—8 В, равное ЭДС, индуктированной в фазах статорной обмотки Δ_I от поля остаточного магнетизма полюсов ротора. Трансформатор *T1* повышает это напряжение, которое через вентиль *V7* выпрямляется и его среднее значение за период подается на зажимы обмотки возбуждения *OB*. Генератор самовозбуждается до напряжения холостого хода. Напряжение холостого хода настраивается регулируемым резистором *R1*. В полупериод, когда генератор возбуждается вентиль *V8* заперт. В следующий полупериод вентиль *V8* открыт. Через него идет ток за счет энергии, накопленной в магнитном поле обмотки возбуждения *OB*, когда по ней проходил ток в предыдущий полупериод и генератор возбуждался.

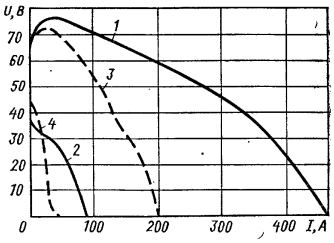


Рис. 42. Внешние характеристики вентильного генератора ГД-312 с самовозбуждением:

1 и *3* — резистор *R2* выведен; *2* и *4* — резистор *R2* введен

С увеличением нагрузки напряжение на фазах статорной обмотки вентильного генератора понижается и вместе с этим уменьшается среднее значение выпрямленного с помощью вентиля *V7* вторичного напряжения трансформатора *T1*. При нагрузке одновременно с трансформатором *T1* обмотку *OB* начинает питать выпрямленным напряжением вторичная обмотка трансформатора тока *T2* через вентиль *V9*.

Трансформаторы *T1* и *T2* используются в вентильном генераторе для создания условий, при которых возможно самовозбуждение генератора, что чрезвычайно важно при работе в полевых условиях, когда нет силовой сети. Трансформатор *T2* работает в схеме вентильного генератора в режиме трансформатора тока. В вентилях *V7—V9* протекают импульсы выпрямленного тока, сдвинутые во времени.

Вентильный генератор имеет ступенчато-плавное регулирование сварочного тока. Ступенчатое регулирование (две ступени) осуществляется путем переключения фаз статорной обмотки специальным переключателем. При включении фаз статорной обмотки треугольником Δ_I устанавливается ступень малых сварочных токов от 40 до 180 А. При включении выключателей *S* (см. рис. 41) в фазах второй обмотки статора вентильного генератора устанавливается ступень больших сварочных токов (от 160 до 350 А). При включении выключателей *S* вторая обмотка статора генератора, фазы которой соединены треугольником Δ_{II}, включается параллельно первой.

Плавное регулирование в пределах каждой ступени осуществляется резистором *R2*, включенным в цепь обмотки возбуждения *OB*. С помощью резистора *R2* можно регулировать крутизну внешних характеристик; это возможно в связи с тем, что реактивные сопротивления фаз обмотки статора у вентильного генератора связаны со степенью насыщения магнитной цепи индукторов ротора. Резистор *R2* выполнен дистанционным. На рис. 42 приведены внешние характеристики генератора ГД-312.

Техническая характеристика агрегата АДБ-318 с вентильным генератором ГД-312 следующая: климатическое исполнение, категория размещения У2; нижняя температура окружающей среды —40° С; режим работы ПН = 60%; продолжительность цикла сварки 5 мин; номинальный сварочный ток 315 А; пределы регулирования сварочного тока для первой ступени от 40 до 180 А, для второй ступени от 160 до 350 А; номинальное рабочее напряжение 32 В; напряжение холостого хода 85 В; тип двигателя бензиновый 320—01; частота вращения 2000 об/мин; мощность двигателя 40 л. с.; расход топлива при номинальном режиме 4,85 кг/ч; топливо бензин А-72; масса 710 кг.

СВАРОЧНЫЕ МНОГОПОСТОВЫЕ СИСТЕМЫ

Общие сведения. В многопостовых системах источник питания снабжает энергией одновременно несколько сварочных постов. Исходя из эксплуатационных и технико-экономических соображений целесообразно применять многопостовые системы в тех отраслях промышленности, в частности в машиностроении и судостроении, когда на относительно небольших производственных площадях сосредоточено большое число однопостовых источников питания (несколько десятков). Число постов от одного многопостового источника шесть—девять. При расчете числа постов от данного источника вводят коэффициент одновременности *e* включения сварочных постов. Для ручной дуговой и механизированной сварки под флюсом принимают $e = 0{,}5 \div 0{,}6$, а для сварки в среде защитного газа $e = 0{,}7 \div 0{,}9$. В современной сварочной технике в качестве многопостовых источников применяют многопостовые выпрямительные установки. Многопостовые генераторы постоянного тока и трансформаторы не применяют. Многопостовые системы создают условия для более рационального использования производственных площадей и значительного уменьшения расходов как на электроэнергию, так и на обслуживание оборудования. Основными требованиями, предъявляемыми к многопостовым системам, является обеспечение независимости работы

постов и незначительное падение напряжения в шинопроводе. Это особенно важно при достаточной удаленности данного поста от места нахождения многопостового выпрямителя. Выпрямительные многопостовые системы рассчитываются на продолжительный режим работы, а сварочный пост — на повторно-кратковременный режим с ПВ = 60%.

Многопостовые установки ВДМ для ручной дуговой сварки плавящимся электродом. Упрощенная электрическая схема установки приведена на рис. 43. Первичная обмотка трехфазного трансформатора *T* соединена треугольником. Фазы первичной обмотки имеют отводы, что создает возможность повысить вторичное напряжение трансформатора на 5% в случае понижения напряжения сети. Трансформатор *T* имеет нормальное магнитное рассеяние и обладает жесткой внешней характеристикой. Выпрямительный узел установки ВДМ собран по шестифазной кольцевой схеме выпрямления. На каждом стержне магнитопровода трансформатора *T* расположены витки фаз первичной обмотки *I* и две фазы одинаковых вторичных обмоток *II*. Электродвижущие силы вторичных обмоток смещены относительно друг друга на 180°. Фазы вторичных обмоток соединены звездами, нейтрали N_1 и N_2 которых образуют отрицательный и положительный выводы (полюсы) выпрямителя. Последовательно с фазами вторичной обмотки включены неуправляемые кремниевые вентили *V*. В реальном выпрямителе это не одиночные вентили, а блоки вентилей, включенных параллельно. Число вентилей в ветви зависит от значения тока фазы трансформатора *T*. На рис. 43 показана схема включения постов для сварки на обратной полярности.

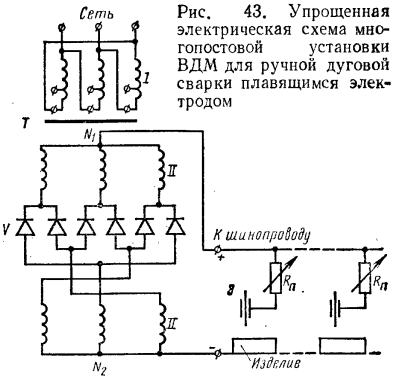


Рис. 43. Упрощенная электрическая схема многопостовой установки ВДМ для ручной дуговой сварки плавящимся электродом

Сварочные посты получают питание от шинопровода через балластные резисторы $R_п$. Резисторы являются регуляторами тока поста, а также осуществляют независимость работы постов. Внешняя характеристика самого выпрямителя жесткая. При номинальном токе снижение напряжения у самого удаленного поста порядка 5%. Регулирование сварочного тока поста автономное. Падающая форма характеристики поста, представляющей зависимость напряжения на дуге от сварочного тока $U_п = f(I_п)$, обусловлена падением напряжения в балластном резисторе $R_п$ (рис. 44).

От кратковременных перегрузок установка защищена быстродействующим автоматом, включенным на входе первичной обмотки трансформатора *T*. От длительных перегрузок в схеме многопостового выпрямителя предусмотрены тепловые элементы в магнитном пускателе. Техническая характеристика многопостовых установок ВДМ приведена в табл. 10.

Многопостовые установки для механизированной сварки плавящимся электродом в углекислом газе. Технология сварки плавящимся электродом в среде углекислого газа предъявляет ряд дополнительных требований к многопостовым системам с централизованным питанием сварочных постов на близких по токам режимах. При сварке плавящимся электродом в углекислом газе, сопровождающейся периодическими короткими замыканиями каплей, наблюдается сильное разбрызгивание металла. Причиной разбрызгивания является быстро нараста-

ющие пики токов при резких колебаниях проводимости разрядного промежутка, что нарушает устойчивость горения дуги. Институтом электросварки ИЭС им. Е. О. Патона разработана многопостовая система с централизованным питанием постов для механизированной сварки в углекислом газе плавящимся электродом.

Система предназначена для одновременного питания нескольких десятков постов и обеспечивает получение качественных сварных соединений во всех пространственных положениях швов при сварке плавящимся электродом на обратной полярности в среде углекислого газа.

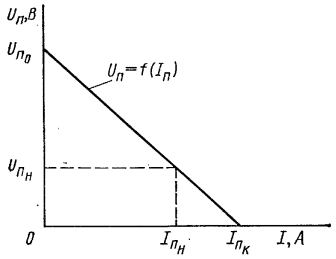


Рис. 44. Характеристика сварочного поста $U_п = f(I_п)$

Источником питания централизованной многопостовой системы является выпрямитель ВМГ-5000. Питание от выпрямителя подается по шинопроводам к отдельным сварочным постам. Функциональная блока-схема системы приведена на рис. 45.

Многопостовой выпрямитель типа ВМГ-5000 имеет шестифазную схему выпрямления с уравнительным реактором $L_{ур}$ (рис. 46). Частота пульсаций выпрямленного напряжения 300 Гц. Питание выпрямителя осуществляется от силовой сети через трехфазный понижающий трансформатор T, имеющий одну первичную I обмотку и две одинаковые вторичные II обмотки. Фазы первичной обмотки секционированны, что позволяет получать пять значений фазных ЭДС вторичных обмоток. Схема выпрямления представляет собой собственно два трехфазных выпрямителя с выведенными нейтралями N_1 и N_2. Выпрямители работают параллельно на нагрузку через уравнительный реактор $L_{ур}$.

Нагрузкой для выпрямителей являются сварочные посты, подключенные к многожильному шинопроводу, соединенному с выходными зажимами (плюс

10. Техническая характеристика многопостовых установок ВДМ для ручной дуговой сварки плавящимся электродом

Параметр	ВДМ-1001	ВДМ-1601
Номинальный сварочный ток, А	1000	1600
Максимально допустимый ток перегрузки, А	1200	1700
Первичная мощность, кВА	74	120
Число постов	7	9
Габаритные размеры, мм	1100×700×900	1050×850×1650
Масса, кг	420	770

Примечание. Климатическое исполнение У3; режим работы установок продолжительный; нижняя температура окружающей среды —10° С; номинальное выпрямленное напряжение 60 В; напряжение холостого хода 70 В; напряжение сети 380 В; КПД = 90%; тип балластного резистора РБ-301; режим работы поста ПН = 60%; продолжительность цикла сварки 5 мин; номинальный ток поста 315 А; пределы регулирования тока поста 12—315 А. До 1977 г. многопостовая система по схеме ВДМ на сварочный ток 1000 А называлась ВКСМ-1000.

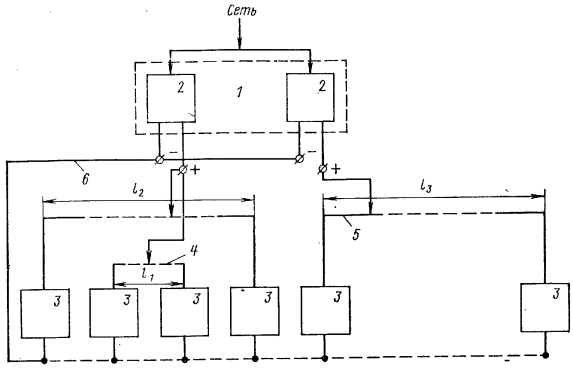


Рис. 45. Функциональная блок-схема централизованной многопостовой системы с питанием постов от выпрямителя ВМГ-5000:
1 — центральная станция питания постов; *2* — выпрямитель ВМГ-5000; *3* — сварочные посты; *4* и *5* — распределительные многожильные шинопроводы низкого и повышенного напряжения; *6* — общая шина, соединенная с отрицательными полюсами (выводами) выпрямителей *2* и с изделиями сварочных постов

и минус) выпрямительной установки. Начала фаз a_1, b_1, c_1 одной из вторичных обмоток соединены с анодами неуправляемых вентилей V_1—V_3, а концы фаз a_2, b_2 и c_2 другой вторичной обмотки T — с анодами вентилей V_4—V_6. Катоды всех вентилей соединены вместе и образуют положительный полюс (вывод) установки ВМГ. Отрицательным полюсом служит средняя точка $У$ обмотки уравнительного реактора $L_{ур}$, имеющего замкнутый магнитопровод. Уравнительный реактор соединяет нейтрали N_1 и N_2 звезд вторичных обмоток трансформатора T. Фазные ЭДС звезд сдвинуты относительно друг друга на 180°. Уравнительный реактор $L_{ур}$ служит для обеспечения четкой параллельной работы двух выпрямителей установки ВМГ. Кроме того, при наличии уравнительного реактора характерным является отсутствие в магнитопроводе трансформатора T постоянной составляющей магнитного потока, что позволяет значительно уменьшить габариты трансформатора. Нормальный режим работы схемы выпрямителя устанавливается тогда, когда обеспечивается непрерывная работа вентилей обоих выпрямителей в заданной последовательности.

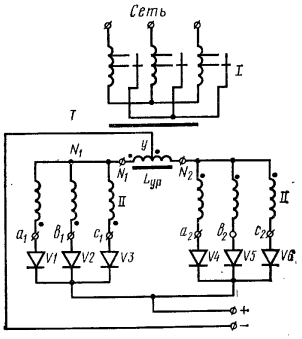


Рис. 46. Электрическая схема силовой цепи многопостового выпрямителя ВМГ-5000

Многопостовая система имеет распределительные многожильные шинопроводы низкого (см. рис. 45) и повышенного напряжений. На каждой автономной

системе шинопроводов можно изменять напряжение вне зависимости от напряжения на другой. Это производится за счет изменения выходного напряжения на зажимах одного из выпрямителей установки ВМГ. Изменение выходного напряжения — ступенчатое, осуществляется специальным переключением числа витков фаз первичной обмотки I выпрямителя.

Выпрямитель рассчитан на пять ступеней выходного напряжения (низкого — 30, 35, 40, 50 В и повышенного — 60 В). Распределительный шинопровод выполнен из алюминиевых шин трех разных сечений и длин (l_1 — короткая, l_2 — средняя и l_3 — наибольшей длины). К шине l_1 присоединяют посты в любом месте, а к остальным — на участках, длины которых больше l_1. Благодаря расчленению шин уменьшается расход алюминия. Для шин разных длин допустимое падение напряжения $\Delta u_{ш}$ остается в установленных нормах. Напряжение на дуге поста регулируется автономно с помощью специального балластного резистора типа РБГ-502. Режим поста регулируют также изменением скорости подачи электродной проволоки, что определяет сварочный ток. Для механизированной сварки плавящимся электродом в среде углекислого газа выпускается многопостовой выпрямитель ВДГМ-1602. В выпрямителе электрическая схема силовой цепи и система фазового управления тиристорами силового блока выпрямления такие же, как у выпрямителя ВДУ-1601. Выпрямители ВДГМ-1602 обеспечивают постоянство выпрямленного напряжения с точностью ±1 В как при изменении нагрузки, так и при колебаниях напряжения сети в диапазоне от +5 до −5% от номинального. Многопостовые выпрямители оборудованы пускорегулирующей и защитной аппаратурой. Предусмотрена возможность параллельной работы однотипных выпрямителей ВДГМ. В комплект поставки выпрямителей ВДГМ входят балластные реостаты и дроссели. Техническая характеристика многопостовых выпрямителей ВДГМ приведена в табл. 11.

11. Техническая характеристика многопостовых выпрямителей ВДГМ для механизированной сварки плавящимся электродом в среде углекислого газа

Параметр	ВДГМ-1602	ВДГМ-1602-1	ВДГМ-1602-2
Номинальное выпрямленное напряжение, В	30	50	60
Первичная мощность, кВА	74	114	138
КПД, % не менее	79	81	83
Масса, кг не более	750	1000	1000
Число постов	9	5	3
Тип балластного резистора	РБГ-201	РБГ-401	РБГ-601
Номинальный ток поста, А	250	400	630
Пределы регулирования тока поста, А	120—250	200—400	400—630

Примечание. Климатическое исполнение У3, режим работы выпрямителя продолжительный; нижняя температура окружающей среды −10° С; номинальный сварочный ток 1600 А, напряжение сети 380 В; режим работы поста ПВ = 60%; продолжительность цикла сварки 10 мин; габаритные размеры 1150×900×1850 мм.

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

К специализированным источникам питания (ИП) относятся источники, обладающие технологическими свойствами, обеспечивающими устойчивое горение дуги как постоянного, так и переменного тока, несмотря на возникающие в процессе сварки возмущения разного характера и происхождения. На базе специализированных ИП можно осуществить автоматическое управление технологическим процессом сварки, резки и наплавки. Ниже рассмотрены установки и источники питания для дуговой сварки неплавящимся электродом в среде защитных газов, а также установки и источники для дуговой резки и напыления.

12. Техническая характеристика установок УПС

Параметр	УПС-301	УПС-501
Продолжительность цикла сварки, мин	5	10
Номинальный сварочный ток, А	315	500
Номинальное рабочее напряжение, В	40	45
Пределы регулирования:		
сварочного тока, А	25—315	100—500
рабочего напряжения, В	18—40	23—45
Первичная мощность, кВА	30	45
КПД, % не менее	70	82
Габаритные размеры, мм	634×975×760	1100×840×1060
Масса, кг	350	500

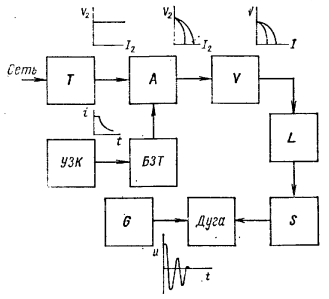
Примечание. Климатическое исполнение У4; нижняя температура окружающей среды +1° С; режим работы ПВ = 60%; напряжение холостого хода 80 В; напряжение сети 220, 380 В.

Установки УПС для плазменной сварки цветных и черных металлов и сплавов. Установки УПС предназначены для сварки неплавящимся электродом постоянным током прямой и обратной полярности. На прямой полярности производится сварка изделий из меди и ее сплавов, а также коррозионно-стойких сталей, на обратной — изделий из алюминия и сплавов на его основе. Отечественная промышленность выпускает установку УПС-301, предназначенную для ручной дуговой сварки в непрерывном и импульсном режимах, и установку УПС-501 — для механизированной сварки в непрерывном режиме. Установка УПС-301 содержит источник питания ВДУ-305, блок управления и плазмотрон, а установка УПС-501 — источник питания ВДУ-504-1, самоходную сварочную головку; блок приводов механизмов перемещения головки и подачи проволоки и блок, содержащий аппаратуру для подачи плазмообразующих и защитных газов. В состав головки входят два плазмотрона на ток 315 и 500 А.

Установки УПС обеспечивают: возбуждение дежурной дуги электрод—сопло с помощью осциллятора; возбуждение основной дуги между электродом плазмотрона и изделием; плавное нарастание сварочного тока после возбуждения основной дуги; плавное снижение сварочного тока в режиме заварки кратера; работу газового клапана по заданному временному циклу.

Установка УПС-501, кроме того, обеспечивает включение механизмов перемещения сварочной головки и присадочной проволоки после возбуждения основной дуги, снижение скорости подачи проволоки в режиме заварки кратера. Техническая характеристика установок УПС приведена в табл. 12. Толщины металлов, свариваемых за один проход, приведены в табл. 13. Ток дежурной дуги не более 28 А в установке УПС-301 и не более 100 А в установке УПС-501. Установка УПС-301 обеспечивает работу в точечном режиме с циклом сварки до 10 с. В импульсном режиме длительности импульса и паузы регулируются в диапазоне от 0,1 до 10 с.

Установка УДГ-101 для аргонодуговой и плазменной сварки коррозионно-стойких сталей вольфрамовым электродом постоянным током. Установка передвижная, состоит из шкафа управления, пульта управления и горелки. Функциональная блок-схема установки УДГ-101 приведена на рис. 47, где T — силовой трехфазный трансформатор с жесткой внешней характеристикой; A — магнитный усилитель, включенный во вторичную цепь трансформатора T для получения внешних характеристик крутопадающей формы и плавного регулирования сварочного тока в двух диапазонах; V — силовой выпрямительный блок, собранный по трехфазной мостовой схеме на неуправляемых селеновых вентилях;



13. Толщина свариваемого металла, мм

Установка	Металл		
	медь и ее сплавы	коррозионностойкая сталь	алюминий и его сплавы
УПС-301	3	5	8
УПС-501	5	8	16

Рис. 47. Функциональная блок-схема установки УДГ-101 для аргонодуговой и плазменной сварки

L — линейный дроссель в цепи выпрямленного сварочного тока, уменьшающий броски тока при возбуждении дуги; *БЗТ* — блок задания сварочного тока, что производится резистором в цепи управления магнитного усилителя *А*; *УЗК* — узел заварки кратера; *G* — осциллятор параллельного включения; *S* — переключатель полярности. Установка оборудована ножной педальной кнопкой включения сварочного тока, амперметром, вольтметром, газовым клапаном, ниппелями для подключения воды и газа. Подача аргона начинается за 1—2 с до начала сварки и прекращается через 10 с после окончания. Пульт дистанционного управления может находиться на расстоянии 10 м от шкафа. На пульте установлены резисторы для регулирования сварочного тока и времени заварки кратера, переключатель диапазонов сварочного тока, кнопки проверки работы газового клапана и осциллятора. В комплект установки входит водоохлаждаемая горелка со сменными цангами для электродов диаметрами от 0,5 до 2 мм.

Техническая характеристика установки УДГ-101 следующая: климатическое исполнение, категория размещения У4; нижняя температура окружающей среды —40° С; режим работы ПН = 60%; продолжительность цикла сварки 10 мин;

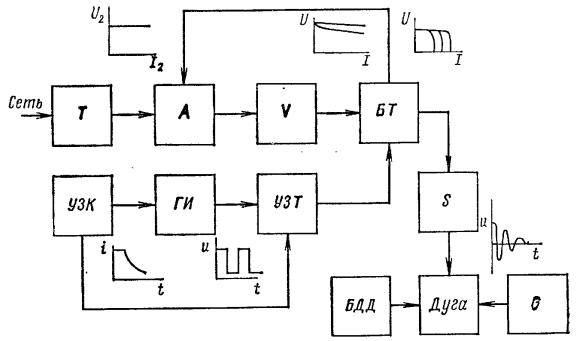


Рис. 48. Функциональная блок-схема источника питания АП-5М

номинальный сварочный ток 50 А; номинальное рабочее напряжение 12 В; пределы регулирования сварочного тока от 2 до 80 А; напряжение холостого хода не более 70 В; первичная мощность 7,0 кВА; напряжение сети 220, 380 В; КПД = = 35%; габаритные размеры 940×650×905 мм; масса 250 кг.

Источник питания АП-5М для аргонодуговой и плазменной сварки черных и цветных металлов и сплавов разработан Институтом электросварки им. Е. О. Патона. Источник АП-5М стабилизированный. Аппарат АП-5М состоит из шкафа и пульта дистанционного управления, водоохлаждаемых аргонодуговой и плазменной горелок. Внешние характеристики источника АП-5М крутопадающие. Сварочный ток поддерживается постоянным при изменении длины дуги и напряжения питающей сети. Сварка производится неплавящимся электродом постоянным непрерывным или импульсным током прямой и обратной полярности. На рис. 48 приведена функциональная блок-схема источника питания АП-5М, где *Т* — силовой трансформатор; *А* — дроссель насыщения, рабочие обмотки которого включены в анодные цепи вентилей силового выпрямительного блока *V*; *БТ* — блок транзисторов, включенный в сварочный контур последовательно с дугой; *S* — переключатель полярности; *БДД*—блок дежурной дуги, в который входит вспомогательный источник питания (на 1—2 А, 70 В); *УЗТ* — узел задания тока, связанный с генератором импульсов *ГИ* и с узлом заварки кратера *УЗК*; *G* — осциллятор. Выпрямительный блок *V* собран по трехфазной мостовой схеме выпрямления на неуправляемых кремниевых вентилях. В блоке *БТ* транзисторы, соединенные параллельно, являются регуляторами, стабилизаторами и импульсными модуляторами сварочного тока. Сварочный ток регулируется плавно путем изменения тока базы транзисторов *БТ*. Генератор импульсов *ГИ* позволяет модулировать сварочный ток по амплитуде и длительности. Регулирование длительности как импульса, так и паузы ступенчатое (20 ступеней). Длительности импульса и паузы устанавливаются в пределах от 0,03—0,6 с. Сварочный ток поддерживается постоянным при изменении длины дуги и напряжения сети. При этом, во избежание перегрева транзисторов, введена обратная связь, поддерживающая на транзисторном блоке минимальное напряжение эмиттер-коллектор, порядка 2,5—3 В, необходимое для работы транзисторов в режиме стабилизаторов тока. Заварка кратера производится как в непрерывном, так и в импульсном режимах; время заварки кратера регулируется плавно в интервале от нуля до 30 с. Все управление работой источника АП-5М производится с дистанционного пульта. Техническая характеристика АП-5М следующая: климатическое исполнение, категория размещения У4; нижняя температура окружающей среды +1° С; режим работы ПН = 60%; продолжительность цикла сварки 10 мин; номинальный сварочный ток 80 А; пределы регулирования тока 1,5—100 А; номинальное рабочее напряжение 12 В; напряжение холостого хода 60 В; первичная мощность 4,5 кВА; напряжение сети 380 В; габаритные размеры 560×600×980 мм; масса 130 кг; диаметр электрода 0,5—2,5 мм.

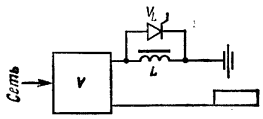


Рис. 49. Схема питания сварочной дуги от выпрямителя ВДГИ-301

Выпрямитель ВДГИ-301 для механизированной импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом. На однополярный базовый ток периодически с частотой 50 или 100 Гц накладываются кратковременные импульсы тока. Выпрямитель ВДГИ-301 передвижной, используется в основном для комплектации полуавтомата ПДГИ-303.

Питание дуги производится от выпрямительного блока *V* (рис. 49) с пульсирующим напряжением. В цепи выпрямленного тока имеется нелинейная индуктивность *L* (дроссель), шунтируемая тиристором V_L. На рис. 50 приведены зависимости $u(t)$ и $i(t)$, поясняющие принцип работы ВДГИ-301. Пока тири-

стор V_L не включен (заперт), по сварочной цепи идет постоянный базовый ток. В момент t_1 происходит отпирание тиристора V_L, шунтирующего дроссель L (см. рис. 49), и напряжение выпрямителя u (рис. 50, *а*) в форме отрезка синусоиды с начальной фазой в точке t_1 оказывается приложенным к сварочной дуге. Ток импульса определяется параметрами всех элементов силовой цепи, исключая дроссель L. Зависимость тока дуги i (t) показана на рис. 50, *б*. Частота следования импульсов зависит от частоты шунтирования дросселя тиристором V_L.

Принципиальная электрическая схема силовой цепи выпрямителя ВДГИ-301 приведена на рис. 51. Первичная обмотка силового трансформатора T состоит из секций $T1_1$, $T1_2$, $T1_3$ и $T1_4$, а вторичная обмотка — из секций $T2_5$ и $T2_6$. В один полупериод напряжения сети

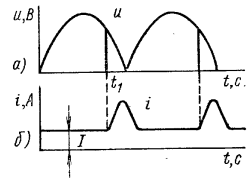


Рис. 50. Зависимости u (t) (*а*) и i (t) (*б*), иллюстрирующие принцип работы выпрямителя ВДГИ-301

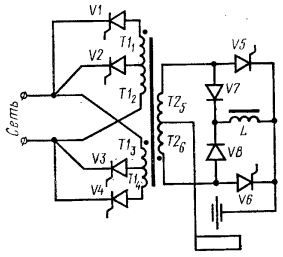


Рис. 51. Принципиальная электрическая схема силовой цепи выпрямителя ВДГИ-301

совместно с секциями обмоток трансформатора $T1_1$, $T1_2$, $T2_5$ работают тиристоры *V1*, *V2*, *V5*, а в другой полупериод напряжения совместно с секциями обмоток $T1_3$, $T1_4$, $T2_6$ работают тиристоры *V3*, *V4*, *V6*. При открытии тиристора *V1* (*V4*) на секции $T1_1$, $T1_2$ ($T1_3$, $T1_4$) первичной обмотки подается напряжение сети. После выпрямления напряжения вентилями *V7*, *V8* через дроссель L и сварочную дугу проходит базовый ток.

Для выравнивания коэффициента пульсаций базового тока во всем диапазоне регулирования дроссель L выполнен нелинейным. При малых сварочных токах индуктивность дросселя больше, чем при больших. Схема управления выпрямителем ВДГИ-301 позволяет изменять наклон внешних характеристик при работе выпрямителя в режиме базового тока. При больших токах, с целью высокого саморегулирования дуги, внешние характеристики жесткие, а при малых токах (с целью стабилизации базового тока для предотвращения обрывов дуги) внешние характеристики крутопадающие. Тиристоры *V5* (*V6*) включаются с запаздыванием относительно момента включения тиристоров *V1* (*V4*). Одновременно с тиристорами *V5* (*V6*) могут включаться тиристоры *V2* (*V3*), выключая тиристоры *V1* (*V4*). При этом уменьшается коэффициент трансформации трансформатора. Такому режиму соответствует диапазон крутых импульсов большой амплитуды. Когда тиристоры *V2* (*V3*) не включаются и тиристоры *V1* (*V4*) продолжают работать, то выпрямитель ВДГИ-301 работает с пологими импульсами малой амплитуды. В каждом диапазоне амплитуда и длительность импульсов определяются фазой включения тиристоров *V5* (*V6*). Базовый ток зависит от момента включения тиристоров *V1* (*V4*) относительно момента включения тиристоров *V5* (*V6*). Запирание последних происходит естественным путем при снижении напряжения питания. В выпрямителе ВДГИ-301 предусмотрена возможность предварительно, при отсутствии выходного напряжения, установить (по прибору) средние значения напряжения на дуге и напряжение импульса. Другим прибором

с переключателем на три положения можно измерять в процессе сварки базовый ток, ток дуги и амплитуду импульса. Параметры выпрямителя ВДГИ-301 стабилизированы при изменениях напряжения сети от +5 до —10% от номинального. Точность стабилизации по базовому току от +1,5 до +3%, по импульсному — от +3 до —6%. Пределы регулирования тока 10—200 А, коэффициент пульсаций базового тока не более 40%. Амплитуда импульса тока 1000 А, длительность 4 мс. Выпрямитель ВДГИ-301 рассчитан на повторно-кратковременный режим работы с ПВ = 60% при продолжительности цикла сварки 5 мин на работу электродом диаметром 1,6—2,0 мм. Техническая характеристика выпрямителя ВДГИ-301 следующая: климатическое исполнение, категория размещения У3; нижняя температура окружающей среды — 10° С; номинальный сварочный ток 315 А; номинальное рабочее напряжение 30 В; пределы регулирования сварочного тока 40—315 А, рабочего напряжения 10—35 В; первичная мощность 13 кВА; напряжение сети 380 В; габаритные размеры 748×1015×953 мм; масса 350 кг.

Специализированные источники питания постоянного тока с унифицированными блоками для дуговой сварки, резки и плазменного напыления. Источники выпускаются Производственно-конструкторским объединением (ПКО «Электромеханика»). Эти источники выполняются на базе единой принципиальной электрической схемы с регулированием выходного тока с помощью тиристоров. Единая принципиальная электрическая схема источников реализована в виде унифицированных блоков, в которые входят унифицированные узлы, удовлетворяющие требованиям, предъявляемым к свойствам источников технологией сварки, резки и плазменного напыления.

Источники построены с использованием принципа обратных связей по выходным току и напряжению. Наличие в схеме ряда блоков, содержащих унифицированные узлы, выполняющие определенные функции, создает возможность управлять формой, величиной и продолжительностью импульсов, подаваемых на тиристоры силового выпрямительного блока источника питания. Благодаря этому осуществляется регулирование выходных тока или напряжения источника. Схемы источников обеспечивают стабилизацию выходного тока при изменениях напряжения питающей сети, длины дуги и температуры окружающей среды. Источники серий ВСВУ и ВСВ используют для сварки неплавящимся электродом; серии ВСП — для сварки плавящимся электродом; серии ВПР — для плазменной резки; источник ВПН — для плазменного напыления.

Источники питания серии ВСВУ предназначены для автоматической сварки изделий из обычных, коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и титановых сплавов открытой и сжатой дугой в непрерывном и импульсном режимах. Источники серии ВСВУ обеспечивают стабилизацию установленного сварочного тока ±2,5% при изменениях напряжения сети ±10%, длины дуги от 0,5 до 6 мм и температуры окружающей среды от +5 до +35° С. Источники серии ВСВУ обеспечивают: плавное, регулируемое во времени, автоматическое нарастание тока в начале сварки от минимального до заданного значения, благодаря чему происходит равномерный разогрев конца вольфрамового электрода и повышается его стойкость; плавное регулирование тока дежурной дуги при импульсной сварке от 2 до 30% от номинального сварочного тока; работу в непрерывном и импульсном режимах; модулирование формы импульса от практически прямоугольной до треугольной; плавное, регулируемое во времени снижение тока от рабочего до минимального значения в конце сварки при заварке кратера.

Независимость сварочного тока от температуры окружающей среды достигается благодаря тому, что элементы электрической схемы источника, чувствительные к изменению температуры среды, помещены в термостат специальной конструкции, входящий в блок регулирования. Источники серии ВСВУ выпускаются на сварочный ток 40, 80, 160, 315 и 630 А.

Функциональная блок-схема источников серии ВСВУ приведена на рис. 52.

Силовой трехфазный трансформатор T имеет одну первичную обмотку $T1$ и две вторичных обмотки $T2$ и $T2_в$ (рис. 53). Фазы первичной и вторичных об-

моток соединены звездами. Напряжение от вторичной обмотки $T2$ силового трансформатора подводится к трехфазному выпрямителю V, собранному по мостовой схеме выпрямления на тиристорах. Основной силовой выпрямительный узел ВСВУ имеет пологопадающую внешнюю характеристику и входит в блок V. От вторичной обмотки $T2_в$ силового трансформатора напряжение подводится к трехфазному неуправляемому выпрямителю $V_в$, собранному также по мостовой схеме, который входит в состав вспомогательного источника питания

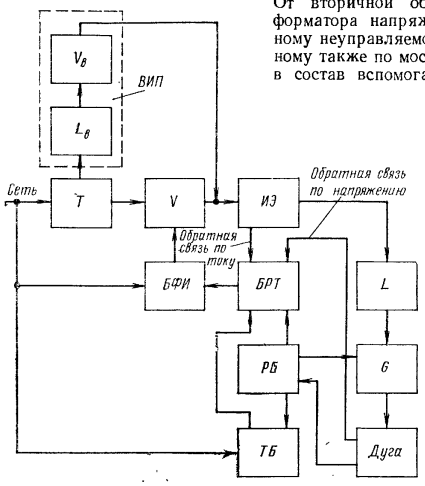


Рис. 52. Функциональная блок-схема источников серии ВСВУ:

Т — силовой трехфазный трансформатор; *V* — силовой тиристорный выпрямительный блок; *ВИП* — вспомогательный источник питания для возбуждения дуги; *ИЭ* — измерительный элемент; *L* — дроссель в цепи выпрямленного тока; *G* — осциллятор; *БФИ* — блок формирования импульсов; *БРТ* — блок регулирования тока; *ТБ* — триггерный блок; *РБ* — релейный блок

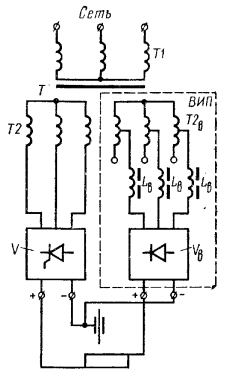


Рис. 53. Упрощенная электрическая схема силовой цепи источника питания серии ВСВУ

ВИП, включенного на дугу параллельно с основным источником питания ВСВУ. Вспомогательный источник питания ВИП имеет крутопадающую внешнюю характеристику. Такая форма характеристики обеспечивается действием трех однофазных неуправляемых линейных дросселей $L_в$ с ферромагнитными сердечниками. Требуемый ток возбуждения дуги устанавливается соответствующим зазором в разъемном сердечнике дросселя $L_в$. Этот ток является минимальным током источника питания серии ВСВУ. Блок ВИП обеспечивает необходимое напряжение холостого хода источника питания 200 В для сварки в среде гелия и 100 В для сварки в среде аргона. На рис. 54 приведена форма внешних характеристик источника питания серии ВСВУ.

Силовой трехфазный выпрямитель *V*, собранный по мостовой схеме на тиристорах, выполняет функции управляемого выпрямителя, формирователя внешней статической характеристики, стабилизатора и коммутатора тока, модулятора импульсов и регулятора тока дежурной дуги при импульсной сварке. В зависимости от номинального тока источника блок *V* комплектуется тиристорами, рассчитанными на разные рабочие токи. Термозащита тиристоров обеспечивается

специальным узлом, смонтированным в релейном блоке *РБ*. Датчиком температуры является терморезистор, установленный в радиаторе тиристора, который включен последним в цепи водяного охлаждения и, следовательно, наиболее сильно нагрет. При превышении температуры охлаждающей воды по сравнению с заданной температурой срабатывает специальное реле, которое отключает силовую цепь источника и включает сигнальную лампу.

Вспомогательный источник питания ВИП представляет собой неуправляемый выпрямитель с крутопадающей внешней характеристикой и служит для возбуждения маломощной дуги, которая возникает до зажигания сварочной дуги. В процессе сварки горят одновременно обе дуги. Маломощная дуга обеспечивает сигналы обратной связи по току и напряжению, необходимые для получения вертикального участка внешней характеристики источника питания до возбуждения сварочной дуги. Совмещение двух, существенно различных по форме внешних характеристик, когда маломощный вспомогательный источник имеет достаточное для надежного возбуждения дуги напряжение, а основной источник — вертикальную внешнюю характеристику в диапазоне рабочих напряжений — позволяет существенно снизить напряжение холостого хода основного источника питания сварочной дуги, а следовательно, потребляемую установкой мощность, массу, габаритные размеры, повысить КПД и коэффициент мощности. Ток возбуждения составляет ~2—3% от номинального сварочного тока.



Рис. 54. Форма внешних характеристик источника питания серии ВСВУ

Измерительный элемент *ИЭ* включен в сварочную цепь последовательно. С элемента *ИЭ* снимается сигнал обратной связи по току. Конструктивно *ИЭ* выполнен в виде трубки из коррозионно-стойкой стали с приваренными токоподводящими отводами. Постоянство электрического сопротивления *ИЭ* в процессе работы обеспечивается малым температурным коэффициентом удельного сопротивления материала трубки и охлаждением трубки проточной водой. Дроссели $L_в$ выполняют функции сглаживающих фильтров на малых токах, составляющих 10—15% от номинального, и предотвращают возникновение автоколебательного режима при глубоком регулировании.

Блок формирования импульсов *БФИ* выполнен по принципу вертикального управления. Пилообразное напряжение сравнивается с напряжением управления с последующим формированием прямоугольных импульсов, положение которых во времени определяется результатом указанного сравнения и зависит от характера суммирующего импульса, поступающего на *БФИ* с блока регулирования тока *БРТ*. Блок формирования импульсов состоит из следующих основных узлов: входного устройства, создающего многофазную систему напряжений,

синхронизированную с напряжением питающей сети; фазосдвигающего устройства, обеспечивающего изменение фазы управления импульсов, относительно напряжения питающей сети; выходного усилителя, осуществляющего усиление и формирование управляющих импульсов.

Работа источника питания в переходном и импульсном режимах обеспечивается двойными импульсами, которые генерирует БФИ благодаря соответствующему соединению трех его каналов управления.

Блок регулирования тока *БРТ* выполнен по схеме дифференциального усилителя постоянного тока на кремниевых транзисторах. Суммирующие сигналы, которые поступают на блок *V* с блока регулирования тока через БФИ, обеспечивают: плавное регулирование сварочного тока во всем рабочем диапазоне; плавное нарастание тока в начале и плавное снижение в конце сварки; формирование внешней характеристики источника серии ВСВУ: стабилизацию рабочего тока при изменениях длины дуги и напряжения питающей сети: импульсную коммутацию тока и модуляцию импульса.

Триггерный блок ТБ служит для задания импульсного режима работы источника питания и обеспечивает независимое регулирование длительности импульсов и пауз, которое кратно целому числу периодов синусоидального тока. Триггерный блок обеспечивает возбуждение периодически повторяющихся, регулируемых по продолжительности и частоте импульсов напряжения, которые через блоки *БРТ* и *БФИ* задают режим работы блоку *V*. Регулирование тока дежурной дуги при импульсной сварке осуществляется с помощью этих же импульсов, которые подаются на промежуточный транзистор в блоке регулирования, а с него — на резистор регулирования дежурного тока, установленный на пульте управления источником, и выходной транзистор блока *БРТ*.

Релейный блок *РБ* состоит из электромагнитных реле постоянного тока, которые определяют порядок срабатывания элементов схемы при нажатии кнопок и включения тумблеров, расположенных на панели управления и дублирующем пульте. Техническая характеристика источников питания серии ВСВУ приведена в табл. 14.

Для возбуждения дуги неконтактным способом в источниках серии ВСВУ использован осциллятор последовательного включения типа ОСПП3-300 М-1. Уровень помех, создаваемых при работе источников серии ВСВУ, снабженных осциллятором ОСПП3-300 М-1, не превышает пределы установленных норм.

Техническая характеристика осцилляторов ОСПП3-300 М-1 следующая: номинальный ток цепи в которую включается осциллятор последовательно

14. Техническая характеристика источников питания серии ВСВУ

Параметр	ВСВУ-40	ВСВУ-80	ВСВУ-160	ВСВУ-315	ВСВУ-630
Номинальный сварочный ток, А	40	80	160	315	630
Пределы регулирования тока, А:					
сварочного тока	2—50	3—90	5—180	8—350	10—700
дежурной дуги	2—15	3—30	5—60	8—120	10—200
Габаритные размеры, мм	520×700××920	520×700××920	520×700××1195	520×700××1195	520×850××1250
Масса, кг	160	180	240	360	480

Примечание. Климатическое исполнение, категория размещения У3; нижняя температура окружающей среды +5° С; режим работы ПН = 60%; продолжительность цикла сварки 60 мин; номинальное рабочее напряжение 30 В; напряжение сети 380 В.

с дугой 240 А при продолжительном режиме; 315 А при ПН = 60%; частота следования импульсов 10—20 кГц; амплитудное значение импульсов напряжения 5000 В; межэлектродный промежуток, пробиваемый осциллятором, не менее 3 мм в воздухе, 6 мм в среде аргона; напряжение сети 220 В; габаритные размеры 225×290×156 мм; масса 5,6 кг.

Источники питания серии ВСВ относятся к специализированным стабилизированным источникам для сварки погруженной дугой и предназначены для

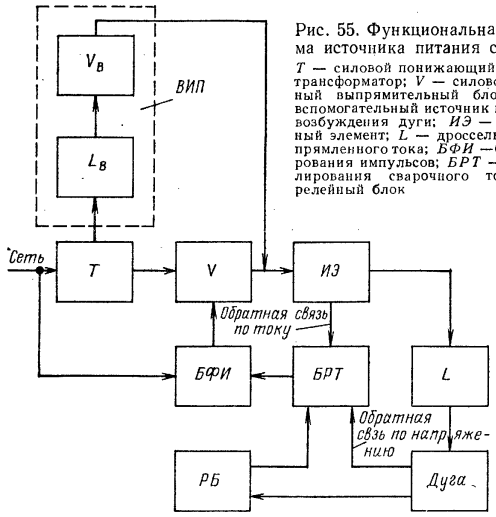


Рис. 55. Функциональная блок-схема источника питания серии ВСВ:
Т — силовой понижающий трехфазный трансформатор; *V* — силовой тиристорный выпрямительный блок; *ВИП* — вспомогательный источник питания для возбуждения дуги; *ИЭ* — измерительный элемент; *L* — дроссель в цепи выпрямленного тока; *БФИ* — блок формирования импульсов; *БРТ* — блок регулирования сварочного тока; *РБ* — релейный блок

автоматической сварки неплавящимся электродом изделий из сталей и титановых сплавов. Погрешность стабилизации сварочного тока при изменении длины дуги от номинальной на ±70% не более 2,5%, и отклонениях напряжения сети от номинального в пределах ±10% и температуры окружающей среды от плюс 5 до 35° С составляет для ВСВ — 1000 ±2,5%, а для ВСВ — 2000 ±3%.

Источники питания серии ВСВ обеспечивают: возбуждение дуги касанием электрода изделия на минимальном токе и плавное, регулируемое во времени нарастание тока до заданного значения; плавное местное или дистанционное управление сварочным током; автоматическое плавное, регулируемое во времени снижение тока в конце сварки (заварка кратера).

Функциональная блок-схема источника питания серии ВСВ приведена на рис. 55. Описание, назначение и принцип работы блоков функциональной блок-схемы источников серии ВСВ даны при описании функциональной блок-схемы источников серии ВСВУ. Форма внешней характеристики источников серии ВСВ подобна форме внешней характеристики источников серии ВСВУ. В области рабочих напряжений внешняя характеристика параллельна оси напряжения, что достигается применением в схеме источников серии ВСВ обратных связей по сварочному току и выходному напряжению. Техническая характеристика источников питания серии ВСВ приведена в табл. 15.

15. Техническая характеристика источников питания серии ВСВ

Параметр	ВСВ-1000	ВСВ-2000
Номинальный сварочный ток, А	1000	2000
Пределы регулирования сварочного тока, А	25—1000	25—2000
Габаритные размеры, мм	800×1000×1450	1300×1620×2120
Масса, кг	1150	2150

Примечание. Климатическое исполнение, категория размещения У3; нижняя температура окружающей среды +5° С; режим работы ПН = 65%; продолжительность цикла сварки 60 мин; номинальное рабочее напряжение 30 В; напряжение холостого хода, не более: сварочного выпрямителя 45 В, выпрямителя возбуждения 100 В; напряжение сети 380 В.

Источники питания серии ВСП относятся к стабилизированным источникам для сварки плавящимся электродом в среде защитных газов обычных, коррозионно-стойких и жаропрочных сталей, титановых и алюминиевых сплавов. Электрическая схема источника позволяет плавно регулировать наклон внешней статической характеристики, чем обеспечивается плавное регулирование тока $I_к$ короткого замыкания источника. При использовании источника питания серии ВСП создаются условия для протекания процесса сварки с минимальным разбрызгиванием металла и для легкой установки режима, требуемого технологией сварки. На рис. 56 приведены внешние характеристики источника ВСП-1000. У источников серии ВСП погрешность стабилизации установленного сварочного тока при изменениях напряжения сети в пределах ±10% и температуры окружающей среды от 5 до 35° С составляет ±2,5%. Первоначальное возбуждение дуги производится касанием торца электродной проволоки поверхности свариваемого изделия. При этом ток короткого замыкания значительно превосходит сварочный ток. Благодаря этому быстро нагревается торец электродной проволоки и существенно улучшаются условия возбуждения дуги. Практически мгновенное возбуждение дуги (горячий пуск) объясняется тем, что в начале процесса сварки задерживаются сигналы обратной связи, которые увеличивают наклон внешней статической характеристики источника.

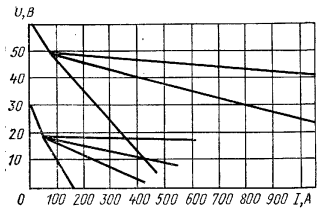


Рис. 56. Внешние характеристики источника питания серии ВСП

Функциональная блок-схема источника питания серии ВСП приведена на рис. 57. Описание функций, выполняемых блоками *V*, *БФИ*, *ИЭ*, *РБ* и *L* дано при рассмотрении функциональной блок-схемы источника питания серии ВСВУ, поскольку как источники серии ВСВУ, так и источники серии ВСП построены из унифицированных блоков (см. рис. 52, стр. 86). Блок регулирования напряжения *БРН* в схеме источника питания серии ВСП получает сигналы обратной связи по сварочному току от блока *ИЭ* и по выходному напряжению с дуги и передает суммирующий импульс на блок *БФИ* для управления работой тиристоров силового выпрямительного блока *V*. Задержка сигналов обратной связи по времени регулируется блоком *БВД* (см. рис. 57).

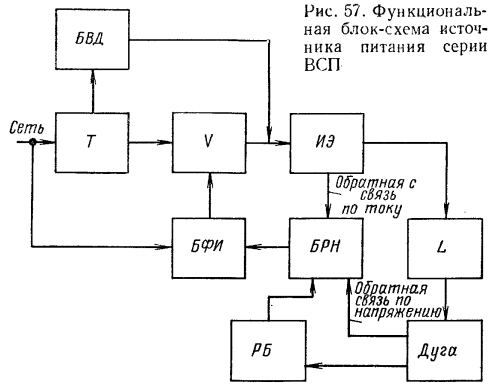


Рис. 57. Функциональная блок-схема источника питания серии ВСП

Источники питания серии ВСП обеспечивают: плавное регулирование выходного напряжения; регулируемый по величине и скорости нарастания пик тока в начале процесса сварки; плавное, регулируемое во времени снижение тока в конце сварки. Техническая характеристика источников питания серии ВСП приведена в табл. 16.

Источники питания серии ВПР предназначены для резки обычных, коррозионно-стойких и жаропрочных сталей, алюминиевых и титановых сплавов, а источник ВПН — для плазменного напыления тугоплавких покрытий. Источники серии ВПР и источник ВПН построены по тому же принципу, что и источники питания серии ВСВУ. Источники серии ВПР и источник ВПН стабилизированные. Погрешность стабилизации выпрямленного выходного тока у источников серии ВПР при изменении напряжения сети в пределах ±10%, длины дуги от 0,5 до 6 мм и температуры окружающей среды от 5 до 35° С составляет у источников ВПР-80 и ВПР-630 ±2,5%, а у источника ВПН ±3%. Источники серии ВПР и источник ВПН обеспечивают: плавное, регулируемое во времени нарастание тока в начале процесса от минимального до заданного и плавное,

16. Техническая характеристика источников питания серии ВСП

Параметр	ВСП-160	ВСП-315	ВСП-1000
Номинальный сварочный ток, А	160	315	1000
Пределы регулирования:			
сварочного тока, А	40—180	50—350	150—1100
напряжения холостого хода, В	16—34	16—44	16—60
Пределы регулирования напряжения пускового импульса, В	16—34	16—44	16—60
Габаритные размеры, мм	520×700×1195		800×1000×1530
Масса, кг	240	350	1150

Примечание. Климатическое исполнение, категория размещения У3; нижняя температура окружающей среды +5° С; режим работы ПН = 60%; продолжительность цикла сварки 60 мин; пределы регулирования длительности пускового импульса 0,25—2,5 С; напряжение сети 380 В.

17. Техническая характеристика источников питания серии ВПР и источника ВПН

Параметр	ВПР-80	ВПР-630	ВПН-630
Номинальный сварочный ток, А	80	630	630
Пределы плавного регулирования тока, А	30—100	100—700	100—700
Напряжение холостого хода, В	180	250	200
Габаритные размеры, мм	500×700×1120	800×1000×1700	800×1000×1530
Масса, кг	310	690	680

Примечание. Климатическое исполнение, категория размещения УЗ; нижняя температура окружающей среды +5° С, режим работы ПН = 60%; продолжительность цикла работы 60 мин; номинальное рабочее напряжение 120 В; напряжение сети 380 В.

регулируемое во времени снижение тока в конце процесса от рабочего до минимального. Техническая характеристика источников питания серии ВПР и источника ВПН приведена в табл. 17. Функциональная блок-схема источников серии ВПР и источника ВПН приведена на рис. 58. Назначение и описание принципов работы блоков функциональной блок-схемы источников серии ВПР и источника ВПН даны при анализе работы и выяснении назначения отдельных блоков источников серии ВСВУ. Это объясняется тем, что источники серии ВПР и источник ВПН, так же как и источники серии ВСВУ, выполнены на базе единой принципиальной схемы с управлением выходным током источника с помощью тиристоров. Требования к источникам питания для резки и плазменного напыления вызывают изменения того или иного блока, заключающегося в замене одного или нескольких, входящих в него функциональных узлов.

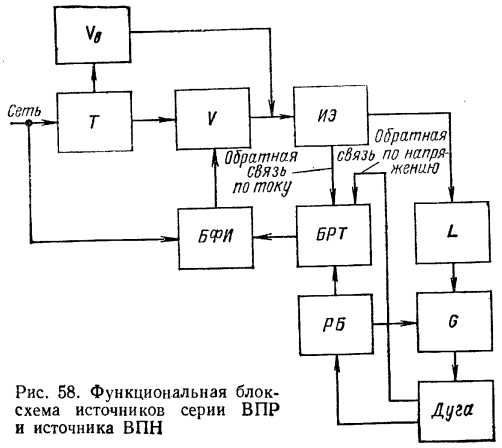


Рис. 58. Функциональная блок-схема источников серии ВПР и источника ВПН

Универсальный источник питания ТИР-300Д для дуговой сварки изделий неплавящимся электродом в среде аргона постоянным или переменным током прямоугольной формы, а также для ручной сварки штучными электродами с покрытием. Источник обеспечивает сварку всех металлов, включая алюминий и магний, а также сплавов на их основе. Источник ТИР-300Д (разработан в НИКИМТе) обеспечивает автоматический процесс сварки; имеет внешние характеристики крутопадающей формы (рис. 59). ТИР-300Д является источником питания параметрического типа и не имеет внешних обратных связей. В состав ТИР-300Д входят следующие узлы: силовой трансформатор с малым магнитным рассеянием, обладающий жесткой внешней характеристикой; регулятор тока, представляющий дроссель насыщения нового типа, работающий в режиме вынужденного намагничивания и имеющий разделенные рабочие обмотки, коммутируемые тиристорами; импульсный стабилизатор горения дуги переменного тока; осциллятор; регулятор спада сварочного тока в конце сварки; элементы управления, индикации и охлаждения. Регулирование сварочного тока ступенчато-плавное. Плавное регулирование сварочного тока в пределах каждой из двух ступеней осуществляется дистанционно посредством ручного или педального пульта. Сварочная дуга при питании от источника ТИР-300Д обладает высокой стабильностью горения, как в установившемся, так и в переходном режимах. Источник ТИР-300Д поддерживает заданное значение сварочного тока в пределах рабочего участка внешней характеристики с точностью, определяемой крутизной характеристики, при относительно медленных изменяющихся возмущениях как со стороны дуги, так и со стороны изменений напряжения питающей сети. При возбуждении дуги касанием изделия или посредством осциллятора ток дуги плавно увеличивается с 5 А до установленного значения за время около 0,4 с. Спад тока при гашении дуги происходит по линейному закону, что позволяет более равномерно снижать тепловложение в сварной шов. В источнике ТИР-300Д это реализовано достаточно простыми путями из-за малой мощности, затрачиваемой на управление сварочного тока в дросселе насыщения с разделенными рабочими обмотками, благодаря тому, что коэффициент усиления по мощности у дросселя насыщения, примененного в ТИР-300Д, равен 2000. Техническая характеристика источника ТИР-300Д следующая: климатическое исполнение, категория размещения УЗ; нижняя температура окружающей среды +5° С; режим работы продолжительный; номинальный сварочный ток 300 А; пределы регулирования сварочного тока — первая ступень 10—150 А, вторая ступень 40—300 А; номинальное рабочее напряжение 30 В; напряжение холостого хода 65 В; первичная мощность 25 кВА; напряжение сети 380 В; КПД = 75%; коэффициент мощности 0,5; время гашения дуги 5 с; габаритные размеры 1230×620×1000 мм; масса 480 кг.

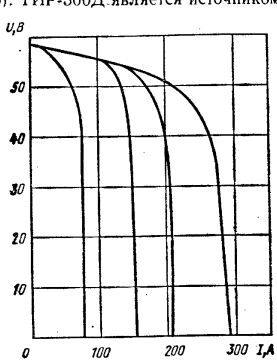


Рис. 59. Внешние характеристики универсального источника питания ТИР-300Д для дуговой сварки неплавящимся электродом в среде аргона постоянным и переменным током

Глава 3

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Оборудование для дуговой сварки в среде защитных газов может быть универсальным и специализированным (рис. 1). Сварку осуществляют на сварочном посту или установке. В состав поста (установки) входит оборудование сварочное, технологическое, механическое, вспомогательное и инструмент. Особенностью оборудования для сварки в защитных газах является то, что оно включает в себя узлы, агрегаты и вспомогательные устройства, предназначенные для газовой защиты металла шва и прилегающей зоны от действия воздуха. Технические и конструктивные особенности источника питания, аппарата с приборами управления и регулирования процесса обусловливаются технологическим процессом сварки в защитных газах (классификация способов сварки в защитных газах приведена в справочнике, том 1).

Степень использования технологического, механического и вспомогательного оборудования зависит от сложности и объема выполняемых работ. Ввиду того, что при дуговой сварке в защитных газах значительное время затрачивается на вспомогательные, сборочные и дополнительные работы, сокращение цикла производства и повышение качества и эффективности сварочных работ могут быть



Рис. 1. Классификация оборудования для дуговой сварки в среде защитных газов

достигнуты только при комплексной механизации всех операций. С развитием технологии сварки расширяется номенклатура сварочных аппаратов и повышаются их технические и эксплуатационные характеристики. Новые аппараты для сварки в среде защитных газов отличаются: 1) широким диапазоном скоростей сварки и подачи присадочной проволоки; 2) возможностью дистанционного управления режимом сварки непосредственно с места сварки; 3) автоматическим поддержанием заданного дугового промежутка и слежением за свариваемым стыком; 4) возможностью использования метода агрегатирования на базе унифицированных узлов при создании аппаратов с заданными техническими характеристиками; 5) унификацией соединений газовых и водяных коммуникаций; 6) учтены требования промышленной эстетики.

СВАРОЧНЫЕ ГОРЕЛКИ

Основные требования и особенности конструкции горелок. Наиболее важным узлом любого сварочного аппарата является горелка. С помощью горелки возбуждается сварочная дуга и осуществляется формирование и направление струи защитного газа. В горелке закреплен электрод (в случае сварки неплавящимся электродом) или токоподводящий наконечник для направления подачи электродной проволоки (в случае сварки плавящимся электродом). Горелка — сменный инструмент и от ее конструкции во многом зависит работоспособность сварочного аппарата в целом.

Конструкция сварочной горелки должна обеспечивать: безопасность работы; стабильность процесса сварки (наплавки); эффективную газовую защиту зоны сварки; минимальное налипание расплавленного металла на сопла; легкую смену изнашивающихся деталей.

Горелка должна быть прочной, удобной в работе и соответствовать требованиям промышленной эстетики. Для предотвращения обгорания корпус горелки должен быть электрически изолирован от мундштука. Для уменьшения налипания брызг расплавленного металла сопло горелки должно иметь хорошее охлаждение. Поверхность сопла желательно полировать и хромировать. Налипание резко снижается, если сопло изготовлять из специальной керамики, например из синаксаля. Эксплуатационные свойства горелок для дуговой сварки плавящимся электродом в большей мере определяются качеством токоподводящего наконечника и, прежде всего, его износостойкостью. При прохождении электродной проволоки наконечники быстро изнашиваются, в результате чего нарушается электрический контакт и ухудшается стабильность процесса сварки. Особенно это заметно в наконечниках с поджимным контактом, конструкция которых не получила широкого распространения.

Наиболее широкое применение получили наконечники из меди без поджимного контакта, изготовляемые точением или штамповкой. Срок службы их соста-

1. Техническая характеристика наконечников, изготовленных из различных материалов [4]

Основные параметры	Медь М3	Хромистая бронза	Никель—бериллий—титановая бронза	Бериллиевая бронза
Содержание легирующих элементов, %	—	0,59 Cr	1,4—1,7Ni, 0,3—1,5Be, 0,05—0,15Ti	1,9—2,2Be, 0,2—0,5Ni
Твердость по Виккерсу, кгс/мм²	85—90	130	240	370
Отношение электропроводности материала к электропроводности меди, %	100	85	52	28
Число часов, отработанных до полного износа наконечника	40	30	23	18

вляет от 5 до 10 ч непрерывной работы. На рис. 2 показаны токоподводящие наконечники сварочных горелок. В табл. 1 приведена техническая характеристика наконечников, изготовленных из меди и некоторых бронз.

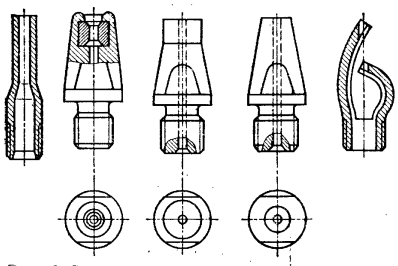


Рис. 2. Токоподводящие наконечники сварочных горелок

Медные наконечники более износостойкие, чем бронзовые. Нецелесообразно изготовлять наконечники из латуни, так как электродная проволока привариваются к наконечнику, а это нарушает режим сварки.

Медно-графитовые наконечники подвергаются быстрому износу (срок службы — одна рабочая смена), однако обеспечивают надежный токосъем и наиболее благоприятные условия скольжения, что особенно важно при сварке электродной проволокой из алюминия и его сплавов.

В некоторых случаях применяют наконечники с повышенной износостойкостью, полученные путем спекания различных порошков (например, меди и вольфрама).

От размеров и конструкции горелки во многом зависит эффективность защиты. В свою очередь размеры горелки выбирают с учетом рода защитного газа, типа сварного соединения и режима сварки. Для создания ламинарного потока

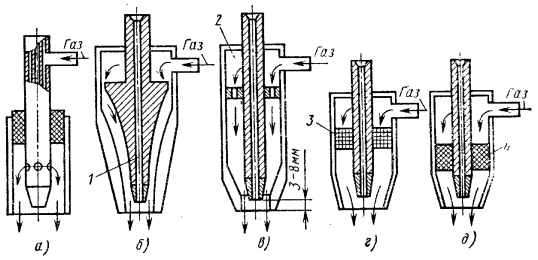


Рис. 3. Схемы питания газом сварочных горелок:

а — с кольцевым подводом газа; *б* — с отражателями; *в* — с успокоительными камерами; *г* — с сеточными вставками; *д* — с металлокерамическими вставками; *1* — отражатель газа; *2* — успокоительная камера; *3* — сетка; *4* — металлокерамика

защитного газа применяют различные схемы подвода газа в сопло (рис. 3). Оптимальная форма сопла параболическая или коническая с цилиндрической частью на выходе.

Для предупреждения попадания воздуха в сопло через канал для прохода проволоки на входе в канал устанавливают уплотнители или подводят защитный газ (рис. 4).

От исполнения рукоятки и выбора для нее материала зависит удобство в работе и надежность горелки. Заводы — изготовители горелок применяют литей-

ный изоляционный материал (например, стеклонаполненный капрон), который позволяет получать рукоятку, форма которой наиболее удобна для руки сварщика.

Классификация. Горелки можно разделить на два класса: для ручной и автоматической сварки (рис. 5). Горелки для ручной и автоматической сварки различаются конструкциями в зависимости от типа электрода. Ручные горелки для неплавящегося электрода имеют держатель молоткового типа с постоянным углом наклона и с совмещенным подводом тока и воды. Горелка позволяет выполнять сварку изделий в любом пространственном положении с присадочной проволокой и без нее на постоянном и переменном токе. Электрический ток подводится к электроду по медному проводу, проложенному внутри шланга с охлаждающей водой. Горелка оснащена керамическими соплами, выключателем движкового типа, размещенным на держателе. Ручные горелки для плавящегося электрода чаще выполняют с держателем пистолетного типа. Эти горелки используют для дуговой полуавтоматической сварки в среде защитных газов. Горелка (рис. 6) состоит из унифицированных узлов с направляющим каналом типа КН-2,5 (проходной диаметр 2,5 мм) и позволяет осуществлять сварку электродной проволокой диаметром 1,2 и 1,4 мм при токе до 315 А.

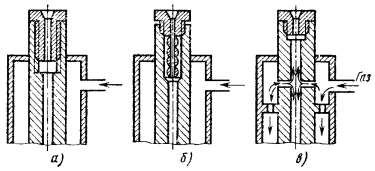


Рис. 4. Схемы предупреждения попадания воздуха в поток защитного газа:

а — сменные цилиндрические уплотнители; *б* — лабиринтные уплотнения; *в* — подвод защитного газа в канал для прохода проволоки

Ручные горелки могут быть с постоянным углом наклона мундштука к рукоятке, а также с изменяющимся углом наклона путем поворота, например, рукоятки. Горелка снабжена сменными металлическими соплами, которые, как и корпус горелки, изолированы от токоподводящих деталей. Электродная проволока диаметром до 2 мм омывается в направляющих каналах защитным газом, в связи с чем максимальный сварочный ток возможен до 315 А. Длина направляющих каналов 3 м. В промышленности начали использовать ручные горелки с изменяющимся углом наклона путем изгиба держателя (рис. 7), что особенно важно при сварке в труднодоступных местах. Горелка предназначена для ручной дуговой сварки в среде защитных газов неплавящимся электродом, имеет водяное охлаждение. Держатель горелки выполнен из спиральных трубок, служащих для подвода тока, охлаждающей воды и защитного газа. Спиральные трубки с эластичной изоляцией позволяют многократно изменять наклон электрода относительно рукоятки. Необходимый угол наклона электрода устанавливается вручную. Угол наклона электрода относительно оси рукоятки возможен до 90°; наименьший радиус перегиба до 20 мм. Электрод вставляют в цангу со стороны сопла и зажимают с помощью распылителя, для чего предварительно снимается керамическое сопло.

Ручные горелки могут быть выполнены с воздушным охлаждением для сварки на малых и средних токах, а также с водяным охлаждением для сварки на средних и больших токах. При этом необходимо учитывать продолжительность (непрерывность) работы (ПР). Как правило, в расчетах при конструировании сварочных аппаратов исходят из ПР = 60%.

Техническая характеристика серийных горелок для ручной дуговой сварки неплавящимся электродом в среде защитных газов приведена в табл. 2, для полуавтоматической сварки плавящимся электродом — в табл. 3.

Горелки для автоматической дуговой сварки вольфрамовым (неплавящимся) электродом, у которых электрод с цангой вынимается вверх, могут быть с воздушным и с водяным охлаждением не только корпуса, но и сопла. Горелку, пред-

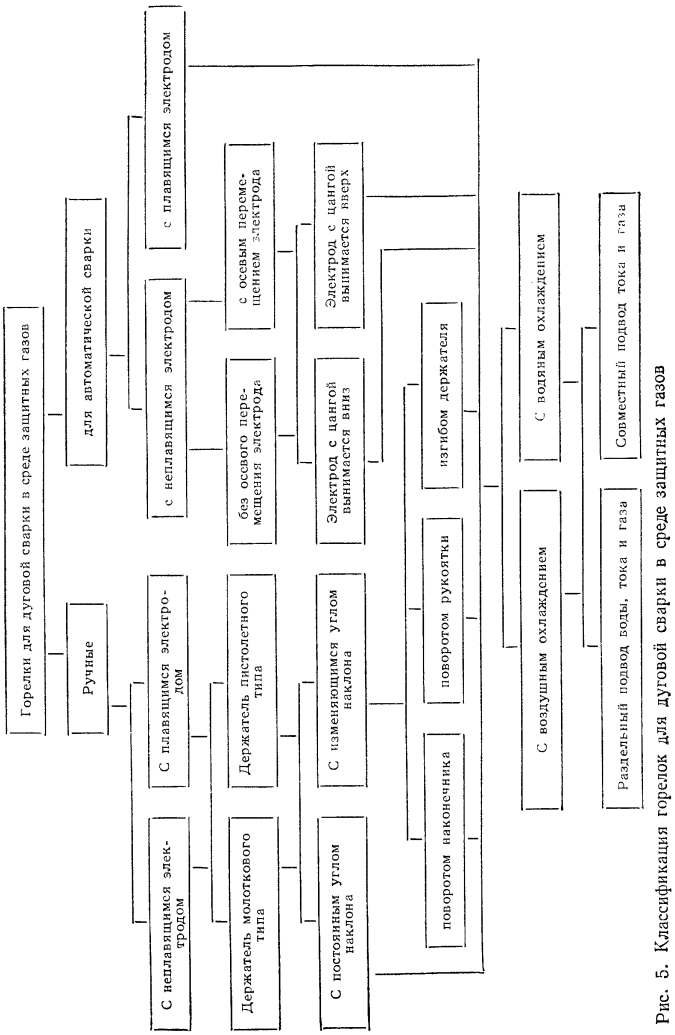


Рис. 5. Классификация горелок для дуговой сварки в среде защитных газов

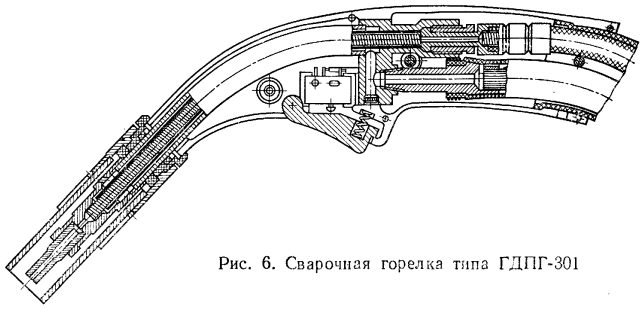


Рис. 6. Сварочная горелка типа ГДПГ-301

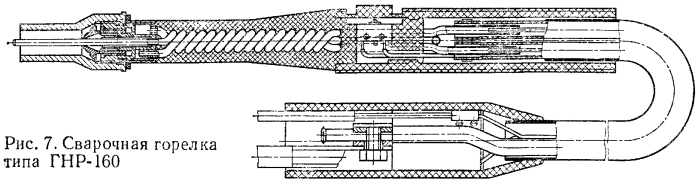


Рис. 7. Сварочная горелка типа ГНР-160

ставленную на рис. 8, используют для автоматической сварки в среде защитных газов неплавящимся электродом с естественным охлаждением без осевого перемещения электрода. Корпус паяный из латуни. Керамическое сопло из синоксаля имеет цилиндрическую часть. Формирование потока защитного газа осуществляется с помощью отверстий распылителя. Четыре сменные цанги обеспечивают сварку на токах до 40 А электродами диаметром 0,8—2 мм. Зажим электрода и смена цанг осуществляется посредством гайки.

Горелку, представленную на рис. 9, используют для автоматической сварки в среде защитных газов неплавящимся электродом с водяным охлаждением без

2. Техническая характеристика горелок для ручной дуговой сварки неплавящимся электродом в среде защитных газов

Обозначение горелки	Номинальный сварочный ток, А	Диаметр электрода мм	Вид охлаждения	Размеры, мм			Масса (без шлангов), кг
				Длина	Ширина	Высота	
ЭЗР-5	75	0,5; 1; 1,5	Воздушное	160	21	120	1,4
ЭЗР-3-66	150	1,5; 2; 3	»	260	35	110	0,78
РГА-150	150	0,8—3	Водяное	260	30	85	0,296
ГНР-160	160	0,8; 1; 2; 3	»	323	30	30	0,212
ЭЗР-3-58	200	2—4	Воздушное	350	80	150	0,68
ГРСТ-1	На фазе 200	1—4	Водяное	285	95	45	0,65
ГНР-315	315	3; 4; 5	»	345	35	35	0,305
РГА-400	400	4—6	»	270	34	105	0,430
ЭЗР-4	500	4—6	Воздушное	325	35	190	0,8

3. Техническая характеристика унифицированных горелок типа ГДПГ для дуговой полуавтоматической сварки плавящимся электродом в среде защитных газов

Обозначение горелки	Номинальный сварочный ток, А	Диаметр электродной проволоки, мм	Материал сварочной проволоки	Длина шлангов, м	Охлаждение	Размеры, мм			Масса (без шлангов), кг
						Длина	Ширина	Высота	
ГДПГ-101-8	160	0,8—1,2	Сталь	2	Воздушное	254	50	113	0,45
ГДПГ-101-9	160	0,8—1,2	»	1	То же	254	50	113	0,45
ГДПГ-101-10	160	0,8—1,2	»	2	»	254	50	113	0,45
ГДПГ-102	160	1,2—1,6	Алюминий	2	»	254	50	113	0,45
ГДПГ-301-6	315	1,2—1,4	Сталь	3	»	266	50	125	0,6
ГДПГ-301-7	315	0,8—1,4	»	1	»	266	50	125	0,6
ГДПГ-301-8	315	1,2—1,4	»	3	»	266	50	125	0,6
ГДПГ-302	315	1,6—2,0	Алюминий	2	Водяное	268	90	125	0,7
ГДПГ-501-4	500	1,4—2,1	Сталь	3	»	268	90	125	0,7
ГДПГ-603	630	1,6—2,5	»	3	»	268	90	125	0,7

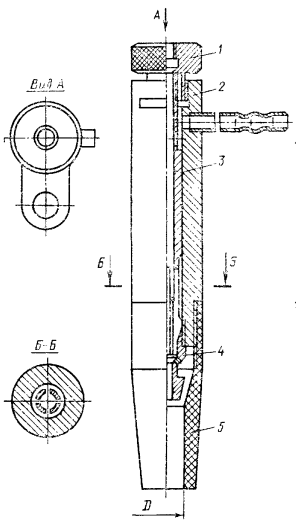


Рис. 8. Сварочная горелка типа 1ГНА-040:
1 — гайка; *2* — корпус; *3* — цанга; *4* — распылитель; *5* — сопло

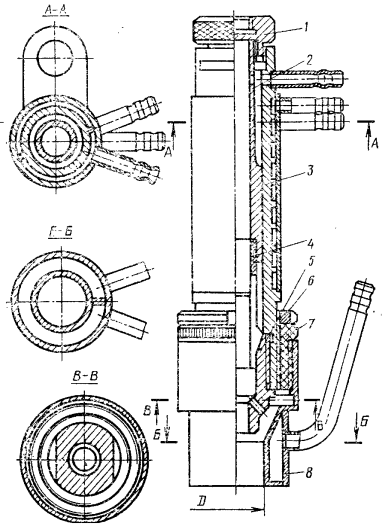


Рис. 9. Сварочная горелка типа 1ГНА-1000:
1 — гайка; *2* — цангодержатель; *3* — корпус; *4* — цанга; *5* — распылитель; *6* — гайка; *7* — изолятор; *8* — сопло

осевого перемещения электрода; цанга и электрод вынимаются вверх, подвод тока, воды и газа раздельный. Корпус и сопло горелки, паяные из латуни с раздельным водяным охлаждением, позволяют осуществлять сварку на токах до 1000 А. Горелки для автоматической сварки неплавящимся электродом, у которых электрод с цангой вынимается вниз, также могут быть с воздушным и с водяным охлаждением. Горелку, представленную на рис. 10, применяют для автома-

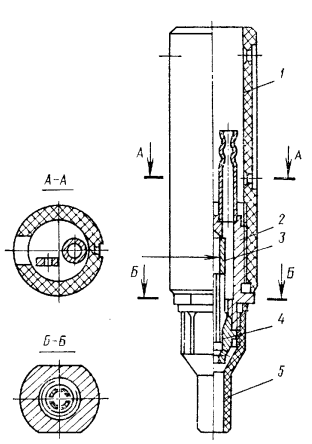


Рис. 10. Сварочная горелка типа 2ГНА-160:
1 — изолятор; *2* — корпус; *3* — цанга; *4* — распылитель; *5* — сопло

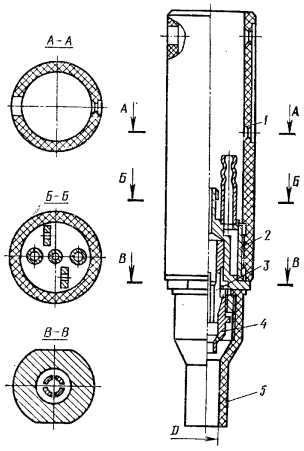


Рис. 11. Сварочная горелка типа 2ГНА-315:
1 — изолятор; *2* — корпус; *3* — цанга; *4* — распылитель; *5* — сопло

тической сварки в среде защитных газов неплавящимся электродом с воздушным охлаждением без осевого перемещения электрода. Латунный паяный корпус горелки размещен внутри изолятора, представляющего собой трубку из прессматериала АГ-4С. Токоподвод и штуцер для подвода защитного газа также размещены внутри изолятора, чем обеспечивается хороший внешний вид горелки. Зажим электрода и смена цанг производятся при повороте распылителя. Горелка предназначена для сварки на токах до 160 А. Горелку, представленную на рис. 11, используют для автоматической сварки в среде защитных газов неплавящимся электродом с водяным охлаждением без осевого перемещения электрода; цанга и электрод вынимаются вниз, подвод тока, воды и газа раздельный. Корпус горелки из латуни паяный водоохлаждаемый; размещен внутри изолятора; поток защитного газа формируется с помощью отверстий распылителя. Сопло керамическое с цилиндрической частью; максимальный сварочный ток 315 А. Техническая характеристика стандартных горелок для автоматической дуговой сварки неплавящимся электродом в среде защитных газов приведена в табл. 4.

Горелки для автоматической дуговой сварки плавящимся электродом в защитных газах существенно отличаются от горелок для сварки неплавящимся электродом и также могут быть с воздушным и с водяным охлаждением. Горелку, представленную на рис. 12, применяют для автоматической сварки в среде за-

4. Техническая характеристика стандартных горелок типа ГНА для автоматической дуговой сварки неплавящимся электродом в среде защитных газов

Обозначение	Номинальный сварочный ток, А	Диаметр электрода, мм	Вид охлаждения	Размеры, мм		Масса, кг
				H	D	
1ГНА-040	40	0,8—2	Воздушное	100	6,8	0,115
1ГНА-160-100	160	1,5—4	»	100	9,12	0,156
1ГНА-160-140	160	1,5—4	»	140	9,12	0,236
1ГНА-160-180	160	1,5—4	»	180	9,12	0,317
2ГНА-160-140	160	1,5—4	»	140	9,12	0,210
2ГНА-160-180	160	1,5—4	»	180	9,12	0,236
1ГНА-315-140	315	2—6	Водяное	140	12,16	0,583
1ГНА-315-180	315	2—6	»	180	12,16	0,788
1ГНА-315-220	315	2—6	»	220	12,16	0,998
2ГНА-315-140	315	2—6	»	140	12,16	0,398
2ГНА-315-180	315	2—6	»	180	12,16	0,470
2ГНА-315-220	315	2—6	»	220	12,16	0,540
1ГНА-630-I	630	4—10	Корпуса водяное, сопла воздушное	220	16,20	0,978
1ГНА-630-II	630	4—10	Корпуса и сопла водяное	220	16,20	1,2
1ГНА-1000-220	1000	6—12	То же	220	20,28	1,6
1ГНА-1000-280	1000	6—12	»	280	20,28	2,0

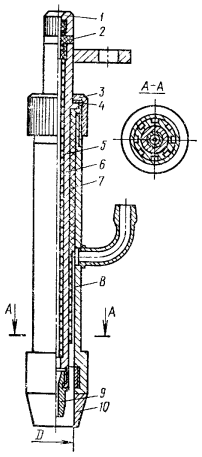


Рис. 12. Сварочная горелка типа ГПА-160:
1 — приемник; *2* — переходник; *3* — гайка; *4* — шайба; *5* — трубка; *6* — стержень; *7* — изолятор; *8* — корпус; *9* — наконечник; *10* — сопло

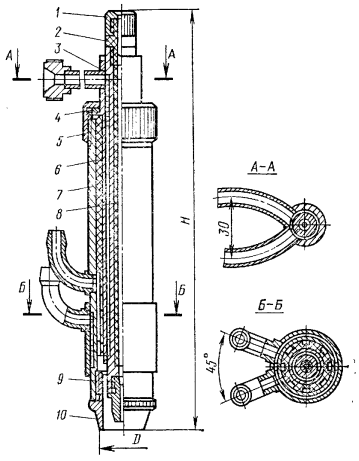


Рис. 13. Сварочная горелка типа ГПА-315:
1 — приемник; *2* — переходник; *3* — стержень; *4* — шайба; *5* — гайка; *6* — изолятор; *7* — корпус; *8* — трубка; *9* — наконечник; *10* — сопло

щитных газов плавящимся электродом с естественным охлаждением. Сменные наконечники из хлористой бронзы позволяют осуществлять сварку электродной проволокой диаметром 0,6—1,6 мм на токах до 160 А. Сопло из меди полированное. Корпус горелки паяный из латуни. Горелку, представленную на рис. 13, используют для автоматической сварки в среде защитных газов плавящимся электродом с водяным охлаждением. Подвод воды и тока совмещены. Корпус и стержень горелки, паяные с раздельным охлаждением, выполнены из латуни. Сменные наконечники обеспечивают сварку электродной проволокой диаметром 1,6—3 мм на токах до 315 А. Техническая характеристика стандартных горелок для автоматической сварки плавящимся электродом приведена в табл. 5.

5. Техническая характеристика стандартных горелок типа ГПА для автоматической дуговой сварки плавящимся электродом в среде защитных газов

Обозначение горелки	Номинальный сварочный ток, А	Диаметр электродной проволоки, мм	Вид охлаждения	Размеры, мм		Масса, кг
				D	H	
ГПА160-100	160	0,6—1,6	Воздушное	14; 16	100	0,365
ГПА160-140					140	0,415
ГПА160-180					180	0,455
ГПА315-140	315	1,6—3	Водяное	16; 18	140	0,470
ГПА315-180					180	0,540
ГПА315-220					220	0,625

ШЛАНГОВЫЕ ПОЛУАВТОМАТЫ

Основные требования и особенности конструкции. Разновидность сварочных аппаратов, в которых подача электродной проволоки механизирована, а перемещение сварочной горелки вдоль шва осуществляется сварщиком вручную, принято называть полуавтоматом. В полуавтомате для сварки плавящимся электродом в защитных газах электродная проволока с помощью электрического привода и механизма подачи подается из барабана (кассеты) по гибкому шлангу к сварочной горелке. Подвод к горелке сварочного тока, воды для охлаждения, защитного газа и цепей управления также осуществляется посредством гибких проводов и трубопроводов, часто заключаемых в один шланг. Разнообразные условия сварки при разных сочетаниях конструкции соединения, толщины и состава свариваемого металла обусловили широкую номенклатуру шланговых полуавтоматов.

Классификация. На рис. 14 приведена классификация шланговых полуавтоматов для дуговой сварки в среде инертных и активных газов. В зависимости от того, где размещен механизм подачи (на корпусе сварочной горелки или вне его), различают полуавтоматы тянущего и толкающего типа. В полуавтомате ПШП-10 электродная проволока подается от механизма подачи с электродвигателем, установленными на корпусе сварочной горелки — пистолетного типа. Катушка с проволокой смонтирована на переносном кронштейне; от катушки к пистолету проволока поступает по гибкому шлангу. Охлаждение пистолета водяное. Полуавтомат А-537У комплектуется двумя токоподводами: неохлаждаемым (до 300 А) и охлаждаемым (до 500 А); одновременно охлаждается мундштук держателя. Длина шланга 3,5 м, скорость подачи проволоки изменяется с помощью коробки скоростей. Электромагнитный газовый клапан обеспечивает подачу защитного газа только во время сварки. Электродвигатель подачи проволоки включается при закорачивании электрода на изделие и выключается при обрыве дуги. Полуавтомат А-537Р комплектуется только неохлаждаемым токо-

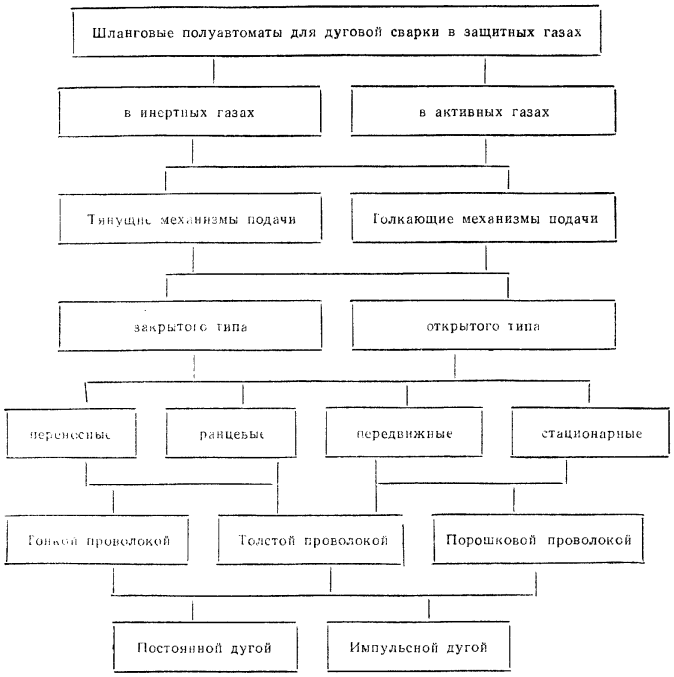


Рис. 14. Классификация полуавтоматов для дуговой сварки в защитных газах

подводом (до 160 А). Включение и выключение осуществляется нажатием кнопки, расположенной на рукоятке держателя. Для эксплуатации в особо опасных условиях электродвигатель, редуктор, механизм подачи и кассету с проволокой закрывают кожухом. Полуавтомат А-547 предназначен для сварки низкоуглеродистых и углеродистых сталей. Выпускается двух модификаций (А-547Р и А-547У); в полуавтомате последней модели обеспечено раздельное отключение проволоки и тока при окончании сварки. В механизме подачи проволоки применено электродинамическое торможение (что упрощает обслуживание электродвигателя). Отсекатель газа установлен в кожухе подающего механизма. В комплект входит два малых держателя на 150 А с длиной шланга 1,2 м и два больших держателя на 270 А с длиной шланга 2,5 м. Малые габариты и масса позволяют использовать полуавтомат на подвижных постах и в монтажных условиях. Полуавтомат А-1230М предназначен для сварки низкоуглеродистых и конструкционных сталей. Имеет небольшие массу и габариты переносных узлов. У полуавтомата отсутствует пульт управления; имеется возможность регулировки скорости подачи сварочной проволоки непосредственно на рабочем месте (трехступенчатое, внутри диапазона плавное). Отсекатель газа смонтирован в ящике. Полуавтомат комплектуется двумя сварочными горелками на ток 315 и 160 А. Применяется для сварки в монтажных условиях. У полуавтоматов открытого типа кассета не закрывается кожухом; остальные узлы могут быть закрыты.

Каждый из полуавтоматов названного типа может быть выполнен переносным, ранцевым, передвижным и стационарным. Полуавтомат ПДГ-303 используют для дуговой сварки в углекислом газе; он толкающего типа, открытый, переносной; сварка осуществляется тонкой проволокой диаметром 0,8—2 мм. Полуавтомат предназначен для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей, позволяет сваривать стыковые и нахлесточные швы на материалах толщиной до 2 + 2 мм. В режиме сварки электродуговыми гочками схемы обеспечивают автоматическую выдержку времени сварки. Переносные шланговые полуавтоматы применяют для сварки тонкими проволоками диаметром 0,8—2 мм; передвижные и стационарные — для сварки толстыми проволоками диаметром 1,8—3,5 мм или порошковой проволокой. Полуавтомат для дуговой сварки в среде углекислого газа тонкой проволокой толкающего типа открытый передвижной. Питание привода подачи и элементов электросхемы осуществляется от источника сварочного тока — дизель-генератора. Полуавтомат особенно удобен для использования в полевых и монтажных условиях. Полуавтомат для дуговой сварки и наплавки в среде углекислого газа толкающего типа, открытый стационарный. Механизм подачи для электродной проволоки, а также узлы газовой аппаратуры крепятся на тележке, которая может находиться от шкафа управления на расстоянии 15 м.

Представленная на рис. 14 классификация не учитывает деления полуавтоматов по типу электродов (плавящийся или неплавящийся) исходя из того, что наиболее широкое практическое применение в СССР и за рубежом получили шланговые полуавтоматы с плавящимся электродом. Имеющийся в нашей стране опыт по созданию полуавтоматов для сварки вольфрамовым электродом с присадочной проволокой ограничивается одной-двумя моделями.

Кроме того, представленная классификация не учитывает и ряд других отличительных признаков, например тип токоподвода (охлаждаемый, неохлаждаемый), а также регулирование скорости подачи электродной проволоки (плавное или ступенчатое). Это объясняется тем, что новые полуавтоматы, как

6. Техническая характеристика электродвигателей постоянного тока типа КПА и КПК

Тип двигателя	Мощность, Вт	Напряжение, В		Ток, А		КПД, %
		якоря	обмотки возбуждения	якоря	обмотки возбуждения	
КПА-560А	60	24	24	5,0	0,53	40
КПА-561	90	48	48	2,8	0,52	55
КПА-563	120	48	48	3,9	0,32	60
КПА-632	250	48	48	7,2	1,2	62
КПК-562	60	48	48	2,0	0,18	56
КПК-564	90	48	48	2,9	0,14	58
КПК-632	180	48	48	5,8	0,25	62

Примечание. 1. Расшифровка условного обозначения типов двигателей: *К* — коллекторный; *П* — постоянного тока; *А* — защищенного исполнения; *К* — закрытого исполнения; первые две цифры — высота оси вращения вала в мм; третья цифра без буквы и с буквой — условная длина пакета железа. 2. Угловая скорость вращения вала электродвигателя 522 ± 78 рад/с.

7. Техническая характеристика полуавтоматов для сварки в защитных газах

Тип полуавтомата	Напряжение сети, В	Номинальный сварочный ток при ПР=60%, А	Диаметр сплошной электродной проволоки, мм	Скорость подачи электродной проволоки, м/с	Источник питания	Габаритные размеры, мм: механизма подачи	Габаритные размеры, мм: шкафа управления	Масса, кг: механизма подачи	Масса, кг: шкафа управления
А537Р	380	150	0,8—1,2	$3\cdot10^{-2}$—$9\cdot10^{-2}$	ВС-200	330×280×325	350×172×315	25	22
А537У	380	500	1,6—2	$2\cdot10^{-2}$—$1,6\cdot10^{-1}$	ВС-600	330×280×325	440×350×450	25	35,5
А547Р	380	200	0,8—1,2	$3\cdot10^{-2}$—$9\cdot10^{-2}$	ВС-200	350×118×245	385×85×245	26	8,5
А547У	380	300	0,8—1,2	$3\cdot10^{-2}$—$9\cdot10^{-2}$	ВС-300	365×265×130	384×258×182	6,25	8,5
ПДГ-301	220/380	315	0,8—1,2	$5\cdot10^{-2}$—$2\cdot10^{-1}$	ВДГ-301	450×275×240	500×500×600	8	30
ПДГ-302	220/380	300	0,8—1,2	$5\cdot10^{-2}$—$2\cdot10^{-1}$	ВДГ-301	380×330×100	500×500×600	7	30
ПДГ-303	220/380	315	0,8—1,2	$5\cdot10^{-2}$—$2\cdot10^{-1}$	ВДГ-301	450×275×240	500×500×600, 700×1020×950	8	30
ПДГ-304	220/380	315	0,8—2	$5\cdot10^{-2}$—$2\cdot10^{-1}$	ВДГ-301	380×330×100	280×170×280	7	10
							500×500×600, 700×1020×950		30
ПДГ-305	220/380	315	0,8—1,4	$3\cdot10^{-2}$—$3\cdot10^{-1}$	ВДГ-302	362×284×153	280×170×280		10
ПДГ-306	220/380	315	0,8—1,4	$3\cdot10^{-2}$—$3\cdot10^{-1}$	Многопостовой	362×284×153	500×460×770	12,5	74
ПДГ-500-1	220/380	500	0,8—2	$3\cdot10^{-2}$—$3\cdot10^{-1}$	ПСГ-501	670×320×335	650×460×760	12,5	74
ПДГ-502	220/380	500	1,2—2	$3\cdot10^{-2}$—$3\cdot10^{-1}$	ВДУ-504-1	470×298×260	470×298×260	15	80
ПДГ-503	380	500	1,6—2	$3\cdot10^{-2}$—$3\cdot10^{-1}$	ВДУ-504-1	500×450×770	500×450×770	13	80
ПДГ-504	380	500	1,6—2	$3\cdot10^{-2}$—$3\cdot10^{-1}$	Многопостовой	904×660×434	470×298×260	27,5	74
ПДГ-505	380	500	1,6—2	$3\cdot10^{-2}$—$3\cdot10^{-1}$		904×660×434	500×450×770	13	80
ПДПГ-500	220/380	500	0,8—2	$4\cdot10^{-2}$—$2\cdot10^{-1}$	ПСГ-500-1	470×298×260	700×550×460	27,5	74
ПДГИ-101	380	120	1,2—1,6	$3\cdot10^{-2}$—$3\cdot10^{-1}$	ВДГИ-102	380×425×625	500×450×770	13	80
ПДГИ-302	380	315	1,6—2	$3\cdot10^{-2}$—$3\cdot10^{-1}$	ВДГИ-301	362×284×153	800×1020×950	10,4	300
ПДГИ-303	380	315	1,6—2	$3\cdot10^{-2}$—$3\cdot10^{-1}$	ВДГИ-301	470×298×260	800×1020×950	12,5	350
ПШП-10	220	300	1—2,5	$2,5\cdot10^{-2}$—$1,7\cdot10^{-1}$	Постоянного тока 350 А, не комплектуется	470×298×260	700×1020×950	13	350
ПШП-16	220	350	1,2—2	$2,6\cdot10^{-2}$—$1,6\cdot10^{-1}$	ВСП-315	540×215×320	550×260×370	8,3	30
ПШП-17	220	315	0,6—2	$2,5\cdot10^{-2}$—$1,6\cdot10^{-1}$	ВСП-315	570×222×426	700×500×767	25,5	125
А-825М	220/380	300	0,8—1,2	$2\cdot10^{-2}$—$1,6\cdot10^{-1}$	ВС-300 или ВСЖ-303	305×175×245	385×170×300	10,5	15
А-929	220/380	350	1—2	$2\cdot10^{-2}$—$1,6\cdot10^{-1}$	ПСГ-500	305×175×245	550×200×350	10,5	25
А-1035М	220/380	450	1,6—2	$2\cdot10^{-2}$—$1,5\cdot10^{-1}$	ПСГ-500 или ПСУ-500, или ВС-500	900×660×480	350×200×320	30	22
А-1197П	220/380	500	1,6—2	$2,5\cdot10^{-2}$—$2\cdot10^{-1}$	ПСГ-500 или ПСО-500	960×660×560	560×360×500	35	70
А-1230М	380	315	0,8—1,2	$4\cdot10^{-2}$—$2\cdot10^{-1}$	ВДГ-302	364×290×130	Нет	10	Нет

правило, комплектуются охлаждаемыми и неохлаждаемыми горелками, а также тем, что все большее применение в конструкциях полуавтоматов находят новые электродвигатели постоянного тока с плавным регулированием серий КПА и КПК (табл. 6).

Техническая характеристика полуавтоматов, серийно выпускаемых в СССР, приведена в табл. 7.

АППАРАТЫ ДЛЯ ДУГОВОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ

Основные требования к конструкции. Аппараты для дуговой автоматической сварки в защитных газах обеспечивают выполнение следующих операций:

— зажигание дуги в начале сварки;

— подачу электрода (или присадочного материала) в зону дуги по мере его оплавления;

— регулирование параметров дуги;

— передвижение дуги вдоль свариваемых кромок;

— защиту зоны дуги и сварочной ванны от воздействия воздуха;

— направление электрода по шву;

— прекращение процесса сварки с совмещением операций заварки кратера и прекращения подачи защитного газа через определенный интервал времени.

Конструкция аппаратов для автоматической сварки должна обеспечивать стабильность процесса сварки, быструю переналадку режима сварки, надежность, удобство обслуживания, безопасность работы. Аппараты должны быть малогабаритными небольшой массы и отвечать требованиям промышленной эстетики.

Классификация. На рис. 15 представлена классификация аппаратов для дуговой автоматической сварки в защитных газах.

Переносные аппараты могут быть выполнены в виде сварочных головок, например переносная сварочная головка для приварки труб к трубным решеткам. Сварочную головку типа АГ6-32М применяют для приварки труб к трубным решеткам. Установка предназначена для дуговой автоматической приварки труб диаметром от 6 до 32 мм к трубным решеткам неплавящимся электродом в среде аргона и комплектуется тремя переносными сварочными головками АГ6-12М, АГ10-18М и АГ19-32М (цифрами указан диапазон диаметров привариваемых труб).

Модификации установки АГ6-32М предусматривают возможность приварки труб к трубным решеткам по криволинейной поверхности, а также электродуговую приварку неплавящимся электродом с подачей присадочного материала. Производительность сварочных головок до 120 швов в час. Масса малой, средней и большой головок без присоединительных проводов и шлангов составляет 1,0; 1,8 и 2,5 кг соответственно. В ЦНИИТмаше разработаны переносные сварочные головки АГ12-16 и АГ16-28 пистолетного типа для приварки труб к трубным решеткам.

Фиксация переносной горелки осуществляется непосредственно по внутренней поверхности привариваемой трубы с помощью цангового устройства. Этот принцип фиксации обеспечивает при небольших габаритах головки быстрый съем и надежную установку автомата на привариваемой трубке. Внутренний диаметр привариваемых трубок 10—24 мм; толщина стенки 0,3—2,0 мм. Весь цикл сварки одного шва осуществляется автоматически с момента нажатия на кнопку «пуск». Сварочный ток постоянный, до 120 А. Установка обеспечивает хорошее качество сварных соединений с производительностью до 120 швов в час. Длина шлангов от сварочной головки до аппаратного ящика 3,5 м. Габариты головки-пистолета 270 × 160 × 110 мм, масса (без шлангов) 2,7 кг.

Переносными выполняются автоматы для дуговой сварки неповоротных стыков труб в монтажных условиях. Автомат АСТ-1 применяют для аргонодуговой сварки неповоротных стыков труб вольфрамовым электродом без присадки. Аппарат комплектуется набором сменных головок, обеспечивающих сварку

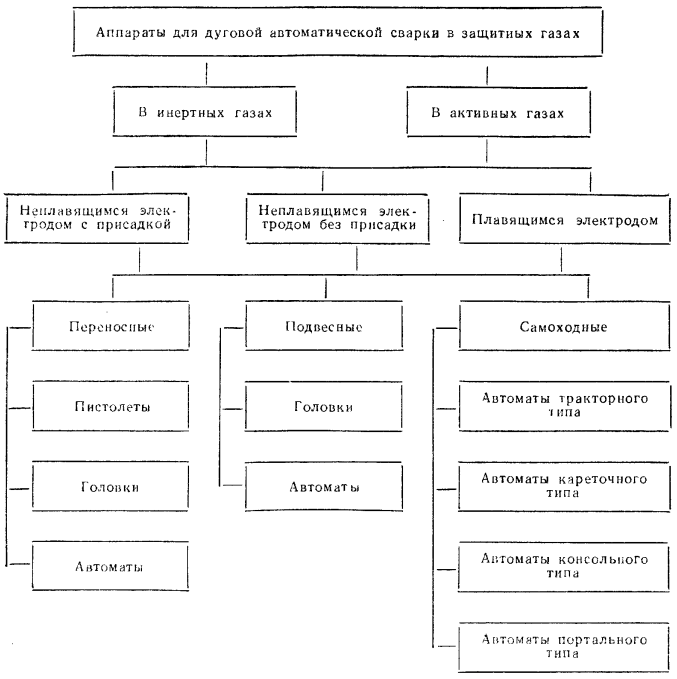


Рис. 15. Классификация аппаратов для дуговой автоматической сварки в защитных газах

труб следующих диаметров 8—25; 25—40; 40—60; 60—85; 85—110; 110—150 и 150—220 мм.

Автоматы типа АСТ-I имеют разъемный корпус для установки и снятия с трубопровода. Привод вращения сварочной головки смонтирован непосредственно на корпусе. Автоматы типа АСТ-I выпускаются трех модификаций (АСТ-IА, АСТ-IС и АСТ-IТ) для сварки труб из алюминиевых сплавов, коррозионно-стойких сталей и титановых сплавов соответственно. Автоматы комплектуются источниками питания в зависимости от материала трубопроводов (алюминий, сталь, титан). На неповоротных стыках труб из титановых сплавов применяют горелку для сварки сжатой дугой. Для сварки в монтажных условиях неповоротных стыков труб неплавящимся электродом с присадочной проволокой применяют автоматы АСТ-II. Разъемный корпус сменных головок автомата АСТ-II содержит два привода для перемещения горелки и присадочной проволоки. Оба привода обеспечивают независимое плавное изменение скорости. Автоматы АСТ-II выпускаются для сварки труб из алюминиевых сплавов, коррозионно-стойких сталей и титановых сплавов.

Для аргонодуговой сварки вольфрамовым электродом неповоротных стыков труб находят широкое применение переносные автоматы типа ОДА. Автоматы ОДА можно использовать как в условиях предварительной сборки, так и непосредственно при монтаже трубопроводов. Трубы из коррозионно стойких сталей диаметром 8—76 мм с толщиной стенок до 3 мм свариваются за один проход или способом автоопрессовки. Расположение механизма поперечной корректировки электрода на невращающейся части автомата облегчает работу оператора. Легкая переносная аппаратура управления, большая длина соединительных кабелей и наличие ручного пульта позволяет выполнять сварку на высоте, в колодцах, люках и других труднодоступных местах. Аппаратура управления обеспечивает изменение скорости сварки по заданной программе; цикл сварки автоматический. Автоматы ОДА обеспечивают высокую производительность монтажных работ. Они могут быть использованы в различных отраслях народного хозяйства.

Для автоматической аргонодуговой сварки неповоротных стыков трубопроводов из коррозионно-стойкой и жаропрочной стали в монтажных условиях успешно применяют переносные головки типа ГТМ. Головки этого типа осуществляют сварку дугой, вращающейся в магнитном поле без присадочного материала. В тех случаях, когда это возможно, используют остающуюся подкладку или применяют отбортовку. Отсутствие необходимости настроек по длине дуги, по стыку, а также простота закрепления переносных головок на трубе позволяет значительно сократить время установки головок на свариваемый стык и увеличить производительность сварки. Благодаря компактности и простоте устройства (отсутствие вращающихся частей и приводов) головки могут быть использованы для сварки трубопроводов в труднодоступных местах. Головки ГТМ-1 изготовляют двух типоразмеров для труб диаметром 10—65 мм, головки ГТМ-2 — трех типоразмеров для труб диаметром 6—50 мм. Техническая характеристика переносных автоматов для сварки неповоротных стыков труб в монтажных условиях типа АСТ, ОДА и ГТМ приведена в табл. 8.

Большую группу аппаратов для дуговой автоматической сварки в защитных газах составляют подвесные сварочные головки. Их применяют главным образом в установках, когда в процессе сварки передвигается изделие или когда головка закреплена на перемещающейся части установки. Часто в качестве подвесных сварочных головок применяют отдельные узлы самоходных аппаратов. Однако в некоторых случаях подвесные сварочные головки выпускаются заводами-изготовителями в виде автономных агрегатов, оснащенных пультом управления и шкафом электроаппаратуры.

Подвесные головки, как правило, состоят из сварочной горелки, механизма подачи присадочной проволоки, механизмов для установочных перемещений горелки, катушки для электродной проволоки и устройства для закрепления головки на консоли или траверсе.

Пульт управления конструируют таким, чтобы его можно было разместить на головке или в любом удобном для работы месте. На рис. 16 показана конструктивная схема сварочной головки АГВ-5. Она отличается от известной сварочной головки АГВ-2 тем, что позволяет осуществлять поперечные колебания горелки в процессе сварки. При сварке вольфрамовым электродом с помощью блока БРДД-1 (входит в комплект головки) осуществляется автоматическое поддержание заданной длины дуги. Сварка ведется как с подачей присадочной проволоки, так и без нее.

Подвесная сварочная головка типа ГСВ-1А предназначена для аргонодуговой автоматической сварки неплавящимся электродом как с присадкой, так и без нее. Отличительной особенностью головки ГСВ-1А (скомпанованной из узлов головок типа АГВ) является возможность обзора оператором зоны сварки с помощью специального оптического устройства, принимающего изображение через гибкий световод.

Рассмотренные подвесные аппараты для автоматической сварки предусматривают их жесткое крепление на консолях или траверсах. Имеется группа сварочных автоматов, которая из-за специфики условий работы подвешивается с по-

8. Техническая характеристика переносных автоматов для сварки неповоротных стыков труб в монтажных условиях

Автомат	Диаметр свариваемых труб, мм	Радиус вращающихся частей головки, мм	Установочная длина *1 головки, мм	Максимальный сварочный ток, А	Габаритные размеры головки, мм	Масса головки без шлангов, кг
АСТ-1-25-А	8—25	55	65	200	200×80×185	2,3
АСТ-1-40-А	25—40	80	65	200	200×80×207	3,1
АСТ-1-60-А	40—60	90	65	220	218×80×228	3,5
АСТ-1-85-А	60—85	105	65	200	230×85×264	4,2
АСТ-1-110-А	85—110	120	65	200	242×85×296	4,6
АСТ-1-150-А	110—150	140	65	200	257×85×345	5,4
АСТ-1-220-А	150—220	170	65	200	310×85×420	6,1
АСТ-1-25-С	8—25	55	65	250	200×80×185	2,3
АСТ-1-40-С	25—40	80	65	250	200×80×207	3,1
АСТ-1-60-С	40—60	90	65	250	218×80×228	3,5
АСТ-1-85-С	60—85	105	65	250	230×85×264	4,2
АСТ-1-110-С	85—110	120	65	250	242×85×296	4,6
АСТ-1-150-С	110—150	140	65	250	257×85×345	5,4
АСТ-1-220-С	150—220	170	65	250	310×85×420	6,1
АСТ-1-25-Т	8—25	55	65	300	200×80×185	2,3
АСТ-1-40-Т	25—40	80	65	300	200×80×207	3,1
АСТ-1-60-Т	40—60	90	65	300	218×85×228	3,5
АСТ-1-85-Т	60—85	105	65	300	230×85×264	4,2
АСТ-1-110-Т	85—110	120	65	300	242×85×296	4,6
АСТ-1-150-Т	110—150	140	65	300	257×85×345	5,4
АСТ-1-220-Т	150—220	170	65	300	310×85×420	6,1
АСТ-II-25-А	8—25	55	75	200	110×115×305	5,3
АСТ-II-40-А	25—40	80	75	200	136×115×305	6,1
АСТ-II-60-А	40—60	90	75	200	155×115×320	6,6
АСТ-II-85-А	60—85	105	75	200	170×115×346	6,8
АСТ-II-110-А	85—110	120	75	200	210×115×388	8,6
АСТ-II-150-А	110—150	140	75	200	246×115×412	9,0
АСТ-II-220-А	150—220	170	75	200	335×115×490	9,2
АСТ-II-25-С	8—25	55	75	250	110×115×305	5,3
АСТ-II-40-С	25—40	80	75	250	136×115×305	6,1
АСТ-II-60-С	40—60	90	75	250	155×115×320	6,6
АСТ-II-85-С	60—85	105	75	250	170×115×346	6,8
АСТ-II-110-С	85—110	120	75	250	210×115×388	8,6
АСТ-II-150-С	110—150	140	75	250	246×115×412	9,0
АСТ-II-220-С	150—220	170	75	250	335×115×490	9,2
АСТ-II-25-Т	8—25	55	75	300	110×115×305	5,3
АСТ-II-40-Т	25—40	80	75	300	136×115×305	6,1
АСТ-II-60-Т	40—60	90	75	300	155×115×320	6,6
АСТ-II-85-Т	60—85	105	75	300	170×115×346	6,8
АСТ-II-110-Т	85—110	120	75	300	210×115×388	8,6
АСТ-II-150-Т	110—150	140	75	300	246×115×412	9,0
АСТ-II-220-Т	150—220	170	75	300	335×115×490	9,2
ОДА-1С	8—26	40	63	100	138×194×60	4,1
ОДА-2С	20—42	55	90	160	180×250×80	5,7
ОДА-3С	42—76	90	100	200	190×355×90	11,8
ГТМ-1-25	10—25	45	40	250	265×90×90	3,4
ГТМ-1-65	25—65	45	40	250	302×90×124	4,1
ГТМ-2-20	6—20	50	40	250	265×101×90	3,4
ГТМ-2-35	20—35	50	40	250	285×102×107	3,7
ГТМ-2-50	35—50	50	40	250	295×102×120	4,0

*1 Установочная длина — минимальная длина прямого участка трубы, необходимая для крепления сварочной головки.

мощью гибкой связи, например аппарат А-1208С, разработанный в ИЭС им. Е. О. Патона. Аппарат подвешивается с помощью троса и предназначен для сварки в среде углекислого газа сплошной или порошковой проволокой обсадных труб над устьем скважины при температуре окружающего воздуха от —30 до +40° С.

Отличительной особенностью подобных подвесных аппаратов являются устройства для установки и фиксации на свариваемой трубе, а также наличие механизмов, обеспечивающих настройку горелки на стык по вертикали. Вращатель аппарата А-1208С снабжен установочными призмами и пневмозажимом, а настройка на стык осуществляется пневмоподъемником с гидравлическим регулятором скорости.

В комплект А-1208С входят вращатель, сварочная головка, переносной пульт и пункт питания, состоящий из шкафа управления и двух сварочных преобразователей ПСГ-500. Техническая характеристика подвесных аппаратов для автоматической сварки в защитных газах приведена в табл. 9.

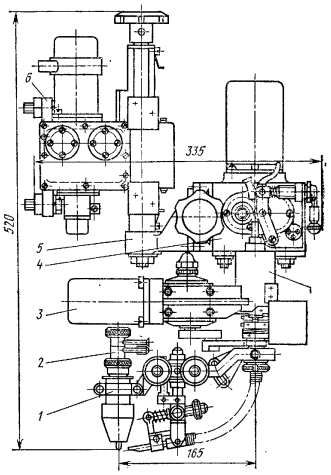


Рис. 16. Конструктивная схема подвесной сварочной головки типа АГВ-5:
1 — механизм крепления горелки; *2* — горелка для сварки вольфрамовым электродом; *3* — вибратор; *4* — редуктор для подачи проволоки; *5* — суппорт; *6* — механизм вертикального перемещения; *7* — переходник

Большое промышленное применение получили самоходные аппараты для дуговой сварки в защитных газах. Эта группа аппаратов отличается наличием устройства, обеспечивающего передвижение сварочной головки вдоль свариваемых кромок с заданной скоростью сварки. В зависимости от конструкции перемещающего устройства автоматы бывают следующих типов: тракторного, кареточного (рис. 17), консольного и портального.

Автомат типа АДГ-502 для дуговой сварки в углекислом газе плавящимся электродом самоходный тракторного типа; состоит из унифицированных узлов для сварки низкоуглеродистых сталей толщиной 1 мм и более. Сварочный трактор представляет собой самоходную каретку со смонтированными на ней сварочной головкой, пультом управления и барабаном для электродной проволоки. Промежуточный шкаф управления отсутствует. Механизмы трактора обеспечивают: а) установочное перемещение горелки поперек шва; б) поворот сварочной головки вместе с пультом и барабаном вокруг вертикальной оси на угол ±90°; в) поворот сварочной головки от вертикали на угол 45° в каждую сторону поперек шва и вдоль шва. Каретка трактора приводится в движение электродвигателем постоянного тока; все четыре колеса ведущие. С помощью рукоятки и зубчатых полумуфт колеса можно выводить из зацепления с приводом. Механизм подачи присадочной проволоки двухступенчатый с плавным регулированием внутри каждой ступени.

Автомат А-1417 для дуговой сварки плавящимся электродом в среде углекислого газа — самоходный, кареточного типа. Автомат А-1417 является базовой моделью самоходных автоматов тяжелого типа. Он имеет подвесную самоходную тележку с независимым механическим приводом. Механизм подачи электродной проволоки размещен в непосредственной близости от сварочной горелки. Сварочную горелку можно наклонять от вертикали на ±45°, поднимать и опу-

9. Техническая характеристика подвесных аппаратов для дуговой автоматической сварки в защитных газах

Тип аппарата	Номинальный сварочный ток, А	Диаметр вольфрамового электрода, мм	Диаметр проволоки, мм		Скорость подачи проволоки, м/с 10^{-3}		Установочные перемещения горелки, мм	
			электродной	присадочной	электродной	присадочной	поперек шва	по вертикали
АГВ-2	300	До 6	—	1—2,5	—	2,8—22	160	100
АГВ-5 *3	300	» 5	1—2	1—2	3,3—26	3,3—250	50	120
АГП-2	400	—	1—2,5	—	28—210	—	160	100
АГП-4	315	—	0,6—2,5	—	16—420	—	100	100
АСГВ-4 *2	315	1—5	—	0,8—2	—	2,1—33	±50	±50
АСГВ-4Р *3	315	1—5	—	0,8—2	—	2,1—33	100	100
АГТФ-1	600	До 10	—	1,6—3	—	2,8—70	45	150
А-1208С	200	—	Сплошной 1,6; порошковой 2—2,5	—	29—55	—	50	—
А-1505	До 1500	—	3—5	—	22—140	—	30	±50

Тип аппарата	Поворот вокруг оси		Габаритные размеры, мм		Масса, кг	
	вертикальной	горизонтальной	головки	шкафа управления	головки	шкафа управления
	градусы					
АГВ-2	90	360	300×600×375	730×515×1050	28	52
АГВ-5 *1	—	(+5) ÷ ÷ (—10)	325×320×520	500×1600×1075	18	230
АГП-2	90	360	300×600×440	730×515×1050	24	52
АГП-4	—	±90	345×425×635	500×700×1195	28	110
АСГВ-4 *2	—	±90	310×385×675	1075×500×1900	27	342
АСГВ-4Р *3	—	±90	370×360×650	850×500×1247	22	115
АГТФ-1	360	±90	355×600×855	610×400×715	33	82
А-1208С	—	—	760×740×2100	—	345	—
А-1505	—	±90	890×1350×2450	—	—	—

*1 Амплитуда колебаний горелки 2—6 мм.
*2 Оснащена системами слежения за стыком и автоматического поддержания дугового промежутка.
*3 Без систем слежения (ручная регулировка)

скать в пределах 250 мм с помощью механического привода со скоростью 0,43 м/мин, а также перемещать поперек до ±75 мм; он имеет плавную регулировку скорости сварки и подачи электрода. Автомат типа УПС-501 для дуговой сварки неплавящимся электродом с присадкой в среде аргона самоходный кареточного типа; предназначен для дуговой сварки на постоянном токе прямой и обратной полярности цветных металлов (меди, алюминия и их сплавов). Автомат

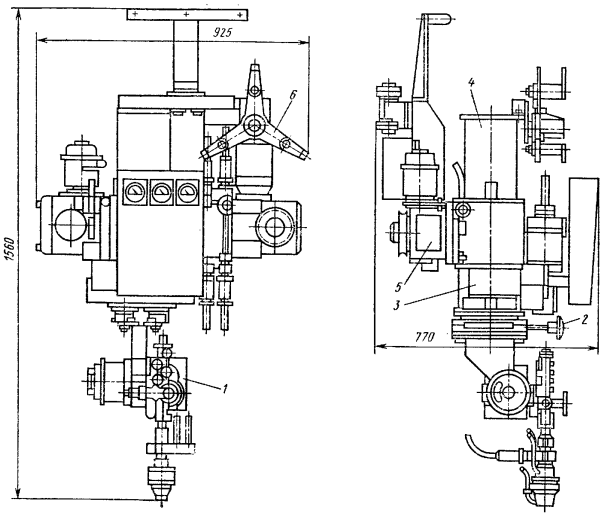


Рис. 17. Конструктивная схема автомата А-1417:
1 — механизм подачи электродной проволоки; *2* — суппорт поперечной настройки; *3* — механизм подъема; *4* — штанга; *5* — самоходная тележка; *6* — катушка с тормозом

оснащен подвесной тележкой кареточного типа, перемещающейся от механического привода по направляющей балке. Пульт управления размещен на корпусе сварочной головки. Сварочная головка может поворачиваться относительно вертикальной оси, что необходимо для обеспечения сварки кольцевых швов с горизонтальной осью вращения. Автомат АРК-3 для дуговой сварки в среде аргона плавящимся и неплавящимся электродом радиально-консольного типа; выпускается двенадцати модификаций, которые служат для сварки изделий из жаропрочных, коррозионно-стойких сталей, алюминиевых и титановых сплавов. В зависимости от типа сварочной головки и соответствующего источника питания автоматы обеспечивают сварку постоянно горящей дугой постоянного тока и переменного тока, а также импульсной дугой постоянного тока. Колонна автомата крепится на основании и может поворачиваться от механического привода на 360°. На колонне имеются направляющие для перемещения (вверх и вниз) специальной самоходной каретки, в которой смонтирована консоль автомата. Консоль может выдвигаться от специального привода с плавным изменением скорости выдвижения. На конце консоли имеется фланец для крепления сварочной го-

10. Техническая характеристика автоматов тракторного и кареточного типа для дуговой сварки в защитных газах

Тип автомата	Тип тележки	Номинальный сварочный ток при ПВ=60% А		Диаметр вольфрамового электрода, мм	Диаметр проволоки, мм		Скорость подачи проволоки, м/с $\times 10^{-3}$	
		постоянный	переменный		электродной	присадочной	электродной	присадочной
А-1181	Тракторный (ТС-42)	500	—	—	1,2—2	—	28—280	—
А-1358	Тракторный (ТС-49)	250	—	—	0,8—1,2	—	58—90	—
АДСВ-2	Тракторный	400	350	2—6	—	1,0—2,5	—	2,8—22
АДСВ-5	Кареточный	300	—	1—4	—	1—2	—	2,8—28
АДСВ-6 *1	Тракторный	315	315	1—5	—	0,8—2	—	2,1—33
АДСВ-6Р *2	»	315	315	1—5	—	0,8—2	—	2,1—33
АДСП-2	»	400	—	—	1,0—2,5	—	28—220	—
АДГ-502	»	500	—	—	1,2—2	—	30—200	—

*1 Оснащен системами слежения за стыком и автоматического поддержания дугового промежутка

*2 Без систем слежения (ручная регулировка).

11. Техническая характеристика автоматов консольного типа для дуговой сварки в защитных газах

Модель	Тип сварочной головки (см. табл. 9)	Длина продольного шва, мм	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
АРК-3-11АВ АРК-3-12АВ АРК-3-21АВ АРК-3-22АВ	АСГВ-4	2500	4600×4000×1200	2150
АРК-3-11РВ АРК-3-12РВ	АСГВ-4Р	2000	4600×3500×1200	2100
АРК-3-21РВ АРК-3-22РВ		2500	4100×4000×1200	2060
АРК-3-11П АРК-3-12П	АГП-4	2000	4100×3500×1200	2025
АРК-3-21П АРК-3-22П				

Примечание. Скорость сварки (1,4—22) 10^{-3} м/с; скорость подъема консоли: маршевая $9{,}7 \cdot 10^{-3}$ м/с, настроечная $3{,}2 \cdot 10^{3}$ м/с; частота поворота колонны вокруг вертикальной оси: маршевая $8{,}3 \cdot 10^{-3}$ об/с, настроечная $2{,}7 \cdot 10^{-3}$ об/с.

Скорость перемещения тележки, м/с 10^{-3}	Установочные перемещения горелок, мм		Поворот головки, градусы	Габаритные размеры, мм		Масса, кг	
	поперек шва	по вертикали		автомата	шкафа управления	автомата	шкафа управления
3,3—33	±25	±25	—	570×310×440	—	36	—
14—21	±10	±5	—	500×230×440	—	21	—
2,8—22	160	100	Вокруг вертикальной оси на 90, горизонтальной оси на 360	560×600×480	730×515×1050	70	52
2,8—25	60	100	—	825×450×790	1075×500×1600	65	180
1,4—22	±50	±50	±90 в плоскости сварки	615×685×650	1075×500×1900	52	354
1,4—22	100	100	±90	615×660×650	850×500×1247	47	128
2,8—22	160	100	Вокруг вертикальной оси на 90, горизонтальной оси на 360	560×600×480	730×515×1050	63	52
3,3—33	—	—	±90 относительно вертикальной оси, ±45 в плоскости сварки	845×365×670	—	60	—

ловки. Техническая характеристика автоматов тракторного и кареточного типа, выпускаемых серийно в СССР, приведена в табл. 10, автоматов консольного типа — в табл. 11. Автоматы портального типа изготовляют по отдельным заказам.

УСТАНОВКИ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ

Установки содержат сварочное, механическое и вспомогательное оборудование. Совмещение в одной установке оборудования для сборочной и сварочной операций избавляет от необходимости прихватов и сокращает вспомогательное время на выполнение настроечных операций.

Схема питания. Отбор из баллонов аргона, гелия, азота, водорода и углекислого газа производится через понижающий редуктор при давлении 0,2—1,5 кгс/см^2 в зависимости от расхода. Защитный газ подается в горелку за 1—3 с до начала сварки; подача прекращается в конце сварки после полного затвердевания металла в кратере шва.

Углекислота в баллонах находится в жидком виде. Для отбора углекислого газа необходим подвод теплоты к жидкой углекислоте. Как правило, из стандартного баллона (вмещающего 25 кг углекислоты) можно получить 12,6 м^3 углекислого газа. При естественном обогреве баллона окружающим воздухом с температурой 22—25° С можно обеспечить непрерывный отбор газа порядка 20—25 л/мин.

При большем отборе газа происходит охлаждение жидкой углекислоты и снижение давления в баллоне. При снижении давления в баллоне ниже 5,28 кгс/см² (тройная точка) жидкая углекислота превращается в сухой лед и процесс газификации практически прекращается. Поэтому в случае необходимости большого отбора газа при температурах 20° С, а также для обычного расхода газа при пониженных температурах необходимо питание от двух баллонов и более.

Давление в редукторе понижается вследствие одноступенчатого расширения газа при прохождении его через отверстие в рабочую камеру, что связано с до-

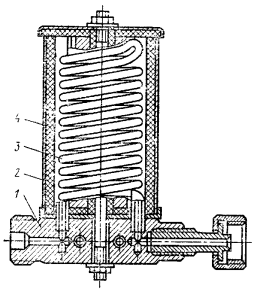
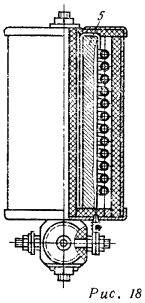


Рис. 18



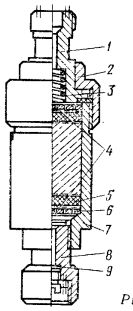


Рис. 19

Рис. 18. Подогреватель газа:
1 — корпус; *2* — кожух; *3* — трубка-змеевик; *4* — теплоизоляция; *5* — нагревательный элемент

Рис. 19. Предредукторный осушитель газа:
1 — втулка; *2* — накидная гайка; *3* — пружина; *4* — сетчатые шайбы; *5* — фильтры; *6* — опорная шайба; *7* — корпус; *8* — втулка; *9* — регулировочный винт

полнительным поглощением тепла и может привести к его замораживанию. В этом случае используют подогреватели. На практике большое применение получили подогреватели из медной трубки, выполненной в виде змеевика, по которой проходит углекислый газ. Медная трубка-змеевик обогревается электрической спиралью. Конструктивная схема такого предредукторного подогревателя представлена на рис. 18.

При использовании баллонов с пищевой углекислотой требуется осушитель газа. На рис. 19 представлен осушитель высокого давления, который устанавливают до понижающего редуктора. В качестве осушающего материала используют силикагель и алюмогель, реже медный купорос. Силикагель и медный купорос поддаются восстановлению путем прокалки при температуре до 300° С. Осушители низкого давления имеют значительные размеры; их устанавливают после понижающего редуктора. В таких осушителях реже производится замена осушающего материала.

Для понижения давления газа до рабочего, при котором газ поступает в горелку, применяют редукционные вентили (редукторы). Техническая характеристика редукторов некоторых типов представлена в табл. 12.

Для сварки в аргоне, гелии, азоте, углекислом газе и их смесях используют редуктор типа ДЗД-1-59М. Для сварки в защитных газах применяют кислородные редукторы типов РК-53, РК-53Б, РКД-8 и др. Однако при малых расходах газа кислородные редукторы работают нестабильно.

Схема питания поста для сварки в углекислом газе плавящимся электродом на постоянном токе представлена на рис. 20. При сварке плавящимся электродом

в инертных газах подогреватель и осушитель газа отсутствуют. При дуговой сварке в защитных газах используют расходомеры поплавкового или дроссельного типов. Чаще применяют расходомеры поплавкового типа — ротаметры (РС-3А, РС-3 и РС-5).

Защитный газ дозируют с помощью газового клапана, который целесообразно устанавливать ближе к сварочной горелке. Широкое применение получили электромагнитные газовые клапаны.

На предприятиях с большим объемом сварочных работ осуществляется централизованное питание сварочных постов (установок) защитным газом. Централизованное обеспечение сварочных постов углекислым газом осуществляется от изотермической емкости, от заводской станции углекислого газа и от перепускной рампы с баллонами. При таком питании отпадает необходимость применения баллонов, предредукторных осушителей и подогревателей газа. В качестве источников питания для сварки плавящимся электродом используют сварочные преобразователи и выпрямители. При сварке неплавящимся электродом для возбуждения дуги в схему вводят осциллятор, который после возбуждения дуги выключается автоматически или ручным выключателем.

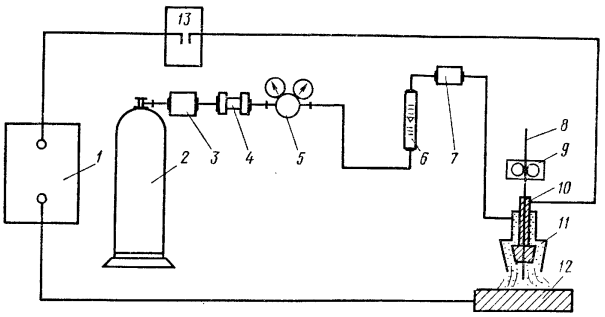


Рис. 20. Схема питания поста для механизированной сварки в среде углекислого газа плавящимся электродом постоянным током:
1 — источник постоянного тока; *2* — баллон с газом; *3* — подогреватель газа; *4* — предредукторный осушитель газа; *5* — редуктор; *6* — ротаметр; *7* — газовый клапан; *8* — электродная проволока; *9* — привод подачи электродной проволоки; *10* — токоведущая втулка; *11* — сопло горелки; *12* — свариваемое изделие; *13* — аппаратура управления

Классификация (рис. 21). Установки для дуговой сварки в защитных газах можно разделить на две группы по способу защиты: со струйной защитой и с защитной контролируемой атмосферой в камере. Наиболее обширную группу составляют установки со струйной защитой (для сварки прямолинейных, кольцевых и криволинейных швов).

В зависимости от характеристики изделия, а также от того, что движется в процессе сварки (сварочный аппарат или изделие), установки для дуговой автоматической сварки прямолинейных швов делят на установки для сварки листов, обечаек и труб. Техническая характеристика некоторых установок для автоматической сварки прямолинейных швов представлена в табл. 13.

Установки для автоматической сварки кольцевых швов делят на две группы: для поворотных и неповоротных швов. К установкам для сварки неповоротных кольцевых швов относят большую группу установок для приварки фланцев

12. Техническая характеристика редукторов, используемых при сварке в защитных газах

Тип редуктора	Давление на входе, кгс/см²	Рабочее давление, кгс/см²	Наибольшая пропускная способность, л/мин	Редуктор
РК-53	150	1—15	1000	Однокамерный
РКД-8-61	200	0,5—8	1338	Двухкамерный
ДЗД-1-59М	15	1,5	2,5—55	Расходомер
РВ-55М	150	1—15	4166	»
РД-1БМ	16	0,05—1,5	83	Регулятор
РКД-00	16	—	21	»
РКД-1-00	16	—	31	»

13. Техническая характеристика установок для дуговой автоматической сварки прямолинейных швов в защитных газах

Тип установки	Длина шва, мм	Диаметр обечаек, мм	Толщина свариваемых материалов, мм	Номинальный сварочный ток, А		Скорость сварки, м/с 10^{-3}	Габаритные размеры (длина × ширина × высота), мм
				переменный	постоянный		
УСПО-400-I	400	—					1255×1000×2000
УСПО-400-II		195—900	До 6	500	300	2,8—22	1255×1000×2525
УСПО-400-III		195—1250					1255×1000×2700
УСПО-600-I	600	—					1435×1000×2000
УСПО-600-II		195—900	» 6	500	300	2,8—22	1435×1000×2525
УСПО-600-III		195—1250					1435×1000×2700
УСПО-900-I	900	—					1900×1360×2000
УСПО-900-II		205—900	» 6	500	300	2,8—22	1900×1360×2525
УСПО-900-III		205—1250					1900×1360×2700
УСПО-1300-I	1300	—					2850×1360×2000
УСПО-1300-II		250—900	» 6	500	300	2,8—22	2850×1360×2525
УСПО-1300-III		250—1250					2850×1360×2700
УСПО-1800-I	1800	—					3800×1360×2000
УСПО-1800-II		300—900	» 6	500	300	2,8—22	3800×1360×2550
УСПО-1800-III		300—1250					3800×1360×2700
УСПО-2200-I	2200	—					3800×1360×2000
УСПО-2200-II		350—900	» 6	500	300	2,8—22	3800×1360×2550
УСПО-2200-III		350—1250					3800×1360×2700
УСПО-3000	2880	450—1200	» 6	500	300	2,8—22	4800×1800×2900
УСПО-2,2	2200	260×3000	» 6	500	300	2,8—22	6000×5000×5000
УСП-7	До 1200	500×1500	0,5—3	—	300	1,4—14	2546×1510×2415
УСП-8	До 2200	1000×2000	До 6	—	300	1,5—14	5600×1600×3065
		Трубы					
СПТ-2	1500	40—200	0,6—1,5	120	300	2,7—26	2655×3175×2055
СПТ-3	1600	58—200	0,6—2,5	120	—	3—60	2400×1450×1675
СПТ-5	2000	60—200	0,6—1,5	120	160	2—27	3420×800×1800

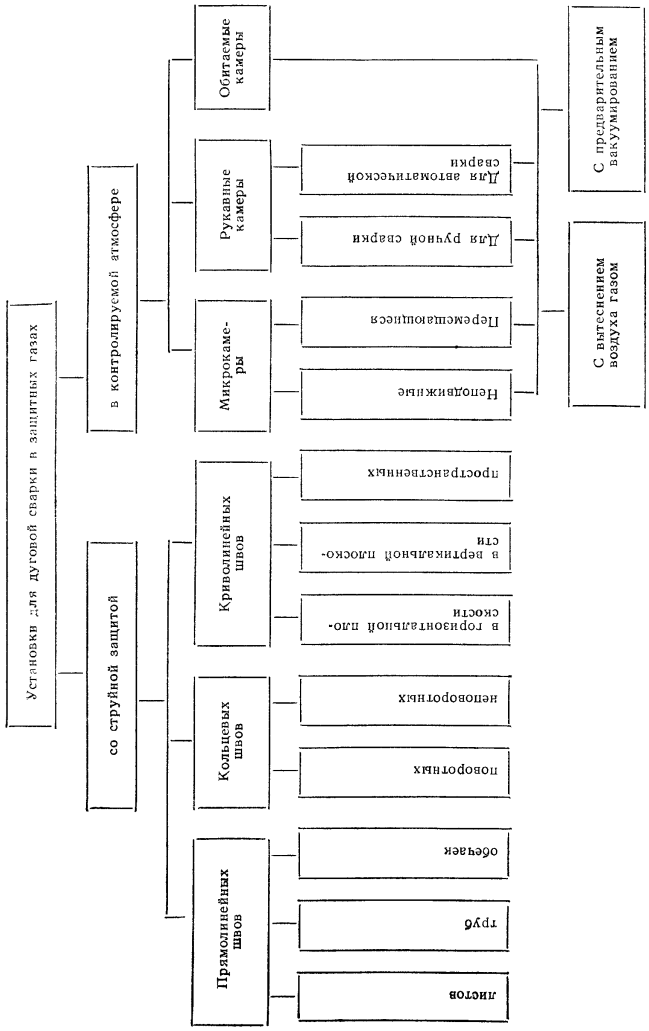


Рис. 21. Классификация установок для дуговой сварки в защитных газах

14. Техническая характеристика установок для дуговой автоматической сварки кольцевых швов в защитных газах

Тип установки	Диаметр свариваемых швов, мм	Характеристика изделий и размеры, мм	Толщина свариваемых материалов, мм	Номинальный сварочный ток, А		Скорость сварки, м/с 10^{-3}	Габаритные размеры (длина × ширина × высота), мм
				переменный	постоянный		
Для поворотных швов							
АДСК-1	150×550	Плоские, H = 300	До 6	—	300	2,8—28	1200×620×1800
УСК-5	500—1000	Обечайки, H = 300	1—2,5	—	300	3—12	12 350×2700×2500
УСК-8	50—300	Плоские и обечайки, H = 600	До 5	—	300	2,8—12	1550×1000×1475
УСК-12	800—1500	Обечайки, H = 6000	1—5	500	—	2,2—8,5	9500×4500×3850
УСК-1800	50—500	Обечайки, H = 1800	До 5	500	300	2,8—17	4000×3325×3200
УСК-3500	500—1000	Обечайки, H = 4000	3—6	350	300	2,8—14	7000×2570×2000
УСК-7000	500—1000	Обечайки, H = 7000	3—6	350	300	2,8—1,4	9500×2570×2000
Для неповоротных швов							
УСФП-2	50—400	Фланцы на обечайках диаметром от 800 и выше	0,8—6	350	—	2,8—12	4500×2000×4865
УСФ-4	30—300	Фланцы на плоскости	0,6—5	—	300	1,4—6	1900×500×2200
УСФ-5	50—420	Фланцы на конических и цилиндрических обечайках диаметром 800—1500 длиной до 4500	1—6	350	—	1,4—9	7825×3725×3690
УСФ-6	50—500	Патрубки к сферическим днищам	1—5	350	—	1,4—9	4500×2000×4865
А-1311	До 550	Вертикальные трубопроводы	До 10	—	220	2,8—7	1600×1600×600
Для поворотных швов							
У-441	Внутренние до 500, наружные до 500	Цилиндрические детали, H = 55 ÷ ÷ 500	Наплавка	—	400	Кольцевая и продольная наплавка 5,6—20	2300×1200×1935
А-1328	1130	Цилиндрические, одновременно два шва, H = 620	Многослойная	—	500	2,8—14	1400×960×1290
У-432	До 1400	Цилиндрические, H = 550	Трехслойная	—	350	9—25	2400×1000×1535

15. Техническая характеристика установок для дуговой автоматической сварки криволинейных швов в защитных газах

Тип установки	Шов на изделии и размеры, мм	Система; точность слежения, мм	Минимальный радиус кривизны, мм	Толщина свариваемого материала, мм	Номинальный сварочный ток, А		Скорость сварки, м/с 10^{-3}	Габаритные размеры (длина × ширина × высота), мм
					переменный	постоянный		
УСКР-2	В вертикальной плоскости на криволинейных патрубках диаметром 40—200, длиной 1500	±0,3	40	0,8—2,5	350	—	1—8	3450×2100×2680
УСС-1500	Спиральный на обечайках диаметром 500—1000, длиной до 1500	Механическая подбором шестерен с индуктивным датчиком рассогласования ±0,3	500	3—5	350	300	2,8—14	6030×2500×3315
УСГШ-1ПУ	На горизонтальной плоскости в пределах 1500×400	Фазовая запись линии стыка предварительная на магнитную ленту, ±0,2	20	2—5	350	315	2,8—14	2200×1500×2300

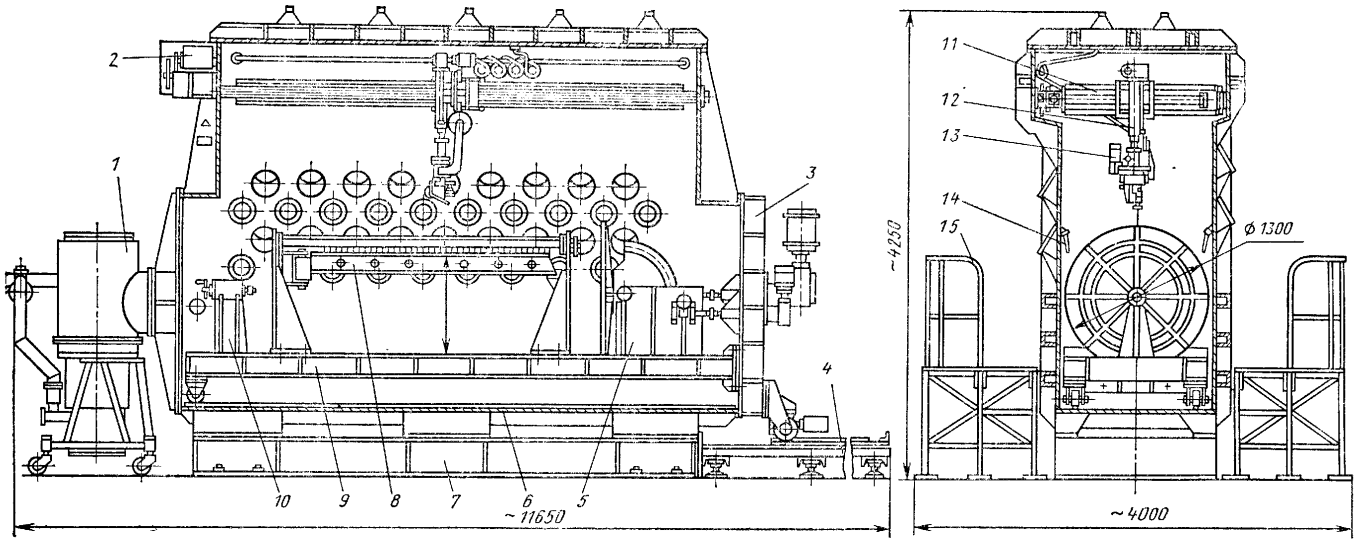


Рис. 22. Конструктивная схема установки УСКС-7 для дуговой автоматической сварки в контролируемой атмосфере:
1 — вакуумная станция; *2* — привод сварочной горелки; *3* — откатная крышка; *4* — направляющие; *5* — манипулятор; *6* — корпус герметичной камеры; *7* — станина; *8* — устройство для сборки под сварку продольных швов обечаек; *9* — выдвижная платформа; *10* — задняя бабка; *11* — механизм поперечного и продольного перемещения сварочной головки; *12* — механизм вертикального перемещения; *13* — сварочная головка или сменная подвесная головка для приварки фланцев; *14* — ручная горелка; *15* — помост

16. Техническая характеристика установок для сварки в контролируемой атмосфере

Тип установки	Характеристика и размеры камеры, мм	Максимальный сварочный ток, А	Скорость сварки, м/с 10^{-3}	Свариваемые изделия и их размеры, мм
УСКС-2	Цилиндрическая с тремя вводами для рук сварщика с одной стороны; $D = 800$; $l = 1000$; боковая крышка откатная; загрузка сбоку	400	2,8—28 с ручной подваркой	Кольцевые швы; $D = 20$—200; $l = 500$; продольный шов, $l = 400$, различной конфигурации
УСКС-2р	То же	400	Ручная	Различной конфигурации
УСУС-4	Прямоугольная, $l = 3000$, $B = 1600$, $H = 500$ с поворотом на 180°; оснащена манипулятором; имеет 14 герметичных выводов, загрузка сверху при повороте камеры	400	»	Различной конфигурации, $l = 2500$; $B = 1500$; $H = 300$
УСКС-4м	Прямоугольная поворотная, $l = 2940$, $B = 1600$; $H = 760$	300	»	Различной конфигурации, $l = 2400$, $B = 1500$; $H = 400$
УСКС-5	Цилиндрическая с фонарем, $D = 1450$; $l = 2200$, по восемь вводов с двух сторон; крышка откатная, загрузка сбоку	400	2,8—28 с ручной подваркой	Цилиндрические и конические обечайки с осью вращения в вертикальных и горизонтальных плоскостях, $D = 300 \div 1200$
УСКА-5	Цилиндрическая с четырьмя вводами; верхняя крышка съемная; загрузка сверху; оснащена механизированной планшайбой с вертикальной осью вращения; $D = 1000$; $H = 800$	300	Ручная	Различной конфигурации; $D = 750$; $H = 500$
УСКС-6	Прямоугольная поворотная вокруг горизонтальной оси на 90°, $l = 3000$; $B = 2700$; $H = 700$; оснащена планшайбой $D = 1300$	500	Ручная	Различной конфигурации; $l = 2800$; $B = 2600$; $H = 500$; $D = 2400$
УСКС-7	Прямоугольная с откатной боковой крышкой; загрузка сбоку; $l = 5000$; $B = 1400$; $H = 3200$	Автоматическая 500, ручная 300	1,4—14	Кольцевые и продольные швы на обечайках $D = 200 \div 1200$; $l = 2000$; поперечные швы на плоскости и под углом на плоских изделиях; $l = 3500$; $H = 1200$
УСКС-9	Цилиндрическая с фонарем и откатной боковой крышкой; загрузка сбоку; $D = 1450$, $l = 2200$	450 с возможностью ручной подварки	1,4—20	Шарбаллоны $D = 100 \div 400$ по 10 изделий за одну загрузку в специальный сварочный барабан

Продолжение табл. 16

Тип установки	Характеристика и размеры камеры, мм	Максимальный сварочный ток, А	Скорость сварки, м/с 10^{-3}	Свариваемые изделия и их размеры, мм
УСКС-10	Цилиндрическая, унифицированные базовые секции $D = 800$, $l = 1000$. Загрузка сбоку; крышка откатная: вводы с одной стороны	400	Ручная	Различных конфигураций, $l = 900$; $D = 600$; $H = 400$; $B = 300$
УСКС-11	Цилиндрическая из унифицированных секций, $D = 800$; $l = 1600$; вводы с одной стороны	400	»	Различных конфигураций, $l = 1500$; $D = 600$; $H = 400$; $B = 300$
УСКС-12	Цилиндрическая унифицированная, базовая секция $D = 1200$; $l = 1600$; вводы с двух сторон	400	»	Различных конфигураций $l = 1500$; $D = 900$
УСКС-13	Цилиндрическая из унифицированных секций, $D = 1200$; $l = 2200$; вводы с двух сторон	400	»	Различных конфигураций, $l = 2000$; $D = 900$; $H = 700$; $B = 1000$
УСКС-14	Цилиндрическая из унифицированных секций $D = 1200$, $B = 2800$; вводы с двух сторон	400	»	Различных конфигураций $l = 2700$; $D = 900$, $H = 700$, $B = 1000$
УСКС-15	Прямоугольная со скосами под иллюминаторы, унифицированная базовая секция; $B = 1000$; $l = 1000$; $H = 8000$; вводы с двух сторон	400	»	Различных конфигураций, $l = 900$; $B = 800$, $H = 500$
УСКС-16	Прямоугольная из унифицированных секций, $l = 1600$; $B = 1000$; $H = 800$, вводы и иллюминаторы с двух сторон	400	»	Различных конфигураций, $l = 1500$; $H = 500$
УСКС-17	Прямоугольная из унифицированных секций $l = 2200$; $B = 1000$; $H = 800$; вводы и иллюминаторы с двух сторон	400	»	Различных конфигураций $l = 2100$; $B = 800$; $H = 500$

Примечания: 1. Камеры цилиндрические и прямоугольные из унифицированных секций могут поставляться с любым дополнительным числом секций ($l = 600$ мм), что необходимо оговорить в заказе. 2. Размеры камеры и изделия: l — длина; B — ширина; H — высота; D — диаметр. 3. Предельное давление остаточных газов (при вакуумировании) 1×10^{-4} мм рт. ст.

к сферическим днищам и обечайкам. Техническая характеристика некоторых установок для автоматической дуговой сварки кольцевых швов со струйной защитой представлена в табл. 14.

Установки для автоматической сварки криволинейных швов делят на установки для сварки криволинейных швов в одной плоскости (горизонтальной или вертикальной) и для сварки пространственных швов.

Техническая характеристика некоторых установок для автоматической сварки криволинейных швов представлена в табл. 15.

В некоторых случаях при сварке изделий из активных материалов (например, титана) со сложными соединениями при различном пространственном и труднодоступном расположении швов струйная защита оказывается неэффективной.

Иногда используют местную защиту в виде «газовых колпаков», газовых завес или местных козырьков, ползушек с непрерывным продуванием защитным газом, а также местных камер. Эти мероприятия связаны с увеличением расхода инертных газов и обеспечивают эффективную защиту, как правило, только на прямолинейных или кольцевых швах. Однако они не решают проблемы сварки большой номенклатуры сложных и ответственных деталей из активных материалов. Наиболее целесообразным, а иногда и единственно возможным способом получения качественного сварного соединения является сварка изделий в герметичных камерах, заполняемых инертными газами — сварка в контролируемой атмосфере.

Наиболее чистая защитная атмосфера обеспечивается в герметичных камерах с предварительным вакуумированием. Электрическая дуга при сварке в камерах горит в «застойной» атмосфере постоянного объема. Изделие погружено в инертный газ, поэтому по эффективности защиты сварка в контролируемой атмосфере может конкурировать со сваркой в вакууме. Определяющим узлом установок для сварки в контролируемой атмосфере является герметичная камера. Конструктивно герметичные камеры могут быть выполнены в виде микрокамер, рукавных камер и обитаемых камер. Микрокамеры могут быть неподвижными, например, при сварке кольцевых швов, когда вращается изделие, или подвижными — обычно для сварки прямолинейных участков. Наибольшее применение получили рукавные камеры. Оператор при этом расположен вне камеры, а все манипуляции внутри камеры он осуществляет руками через специальные герметичные мягкие рукавные вводы, заканчивающиеся резиновыми перчатками. Рукавные камеры могут быть для ручной и для автоматической сварки (рис. 22).

Для сварки крупногабаритных изделий, особенно с выполнением монтажных работ, применяют обитаемые камеры. Оператор-сварщик в специальном костюме с необходимыми устройствами для жизнеобеспечения работает внутри камеры, наполненной инертным газом. Загрузку и выгрузку изделий производят через промежуточные шлюзы. Для входа и выхода операторов имеются специальные тамбуры. Обитаемые камеры — весьма сложные инженерные сооружения, создание которых требует больших затрат средств и времени. Техническая характеристика некоторых установок для сварки в контролируемой атмосфере приведена в табл. 16.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Коган Ю. А.** Автоматы и полуавтоматы для дуговой сварки плавящимся электродом в среде защитных газов. Л., Энергия, 1976. 142 с.
2. **Сварочное** оборудование. Каталог-справочник/ Под ред. А. И. Чвертко. Киев, Наукова думка, 1972, ч. 3. 194 с.
3. **Справочник** по сварке/Под ред. Е. В. Соколова. М., Машгиз, 1961, т. 2. 664 с.
4. **Технология** электрической сварки металлов и сплавов плавлением/Под ред. Б. Е. Патона. М., Машиностроение, 1974. 768 с.

Глава 4

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ И НАПЛАВКИ БЕЗ ВНЕШНЕЙ ЗАЩИТЫ ДУГИ И ПОД ФЛЮСОМ

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О СВАРКЕ И ПРИМЕНЯЕМОМ ОБОРУДОВАНИИ

Способами сварки без внешней защиты дуги (незащищенной дугой) и сваркой под флюсом в народном хозяйстве страны выполняется наибольший объем сварочных и наплавочных работ. В понятие сварка (наплавка) без внешней защиты дуги включаются ручная дуговая сварка (наплавка), механизированные способы сварки (наплавки) легированной электродной проволокой открытой дугой, т. е. без внешней газовой защиты, а также способ сварки (наплавки) порошковой проволокой с внутренней защитой. Под сваркой (наплавкой) под флюсом понимается сварка (наплавка), при которой дуга горит под слоем сварочного флюса.

Сварка (наплавка) без внешней защиты дуги может быть ручной, полуавтоматической и автоматической, а сварка под флюсом — полуавтоматическая и автоматическая. Различаются эти способы лишь степенью механизации отдельных операций.

При ручной сварке подачу электрода в зону дуги и передвижение его вдоль свариваемого соединения производят вручную. При полуавтоматической сварке механизирована только подача электрода, а перемещение его вдоль шва и некоторые другие операции не механизированы. Наиболее распространенным способом полуавтоматической сварки является сварка тонкой электродной проволокой диаметром 2 мм и менее, которая подается в зону сварки по гибкому шлангу.

При автоматической сварке механизированы все основные рабочие движения и операции: возбуждение и поддержание горения дуги, подача электрода, перемещение электрода вдоль свариваемых кромок со скоростью сварки, защита дуги и сварочной ванны от воздействия воздуха (по необходимости), колебательные движения электрода (по необходимости), прекращение процесса сварки и заварка кратера в конце шва и пр. В связи с этим различают инструмент и приспособления для ручной сварки, сварочный полуавтомат или автомат, станок и установку для полуавтоматической или автоматической сварки.

Термины полуавтоматическая и автоматическая сварка и соответственно полуавтомат и автомат несколько условны и не указывают, например, на то, что сварочный автомат работает без участия человека, как это понимается в машиностроении. В то же время, определение сварочные станки-автоматы соответствует принятому в машиностроении понятию станок-автомат как агрегат, работающий по автоматическому циклу.

Термин сварочный аппарат для дуговой сварки объединяет понятия сварочный полуавтомат и сварочный автомат (самоходная или подвесная головка).

Сварочной головкой называют механизм, подающий электрод, возбуждающий и поддерживающий горение дуги, а также прекращающий процесс сварки. Закрепляемая неподвижно сварочная головка называется подвесной. Если в конструкции сварочной головки предусмотрен механизм для ее перемещения вдоль изделия, головка называется самоходной. Головка может перемещаться по специальному пути или непосредственно по свариваемому изделию.

Переносные дуговые сварочные аппараты, движущиеся на самоходной тележке во время сварки непосредственно по свариваемому изделию либо по направляющей линейке, укладываемой на изделие параллельно шву, называются сварочными тракторами.

Сварочной установкой (станом, станком) называется комплекс, в состав которого входит следующее оборудование: а) электросварочное — сварочный аппарат, источник сварочного тока, аппаратура регулирования и контроля сварочного процесса; б) механическое — устройства и механизмы для крепления сварочного аппарата и движения его или изделия в заданном направлении, устройства для размещения и перемещения сварщиков, а также аппаратура контроля и регулирования; в) вспомогательное — флюсовая и газовая аппаратура, токоподводы, устройства и механизмы для зачистки места под сварку, устройства и механизмы для очистки шва и прилегающей зоны изделия от шлаковой корки и брызг металла, устройства для очистки зоны обслуживания от пыли и вредных газов.

Четкое разграничение в определениях сварочной установки и сварочного станка отсутствует. Станком называют комплекс перечисленного оборудования, основные части которого объединены станиной. Станами называют установки для сварки крупных изделий в массовом производстве (трубосварочные станы, картосварочные станы).

Ручная дуговая сварка без внешней защиты дуги обеспечивает хорошее качество сварных соединений и поэтому широко применяется для изготовления различных конструкций из стали и цветных металлов и их сплавов, а также при выполнении ремонтных работ. К недостаткам данного способа сварки относятся его сравнительно низкая производительность и зависимость качества сварного соединения от квалификации сварщика. Существенным недостатком является также необходимость частой замены электродов, которая кроме потери рабочего времени может повлечь возникновение в сварном шве дефекта. Поэтому важной проблемой является максимальная механизация и автоматизация дуговой сварки.

Для полуавтоматической сварки без внешней защиты дуги и под флюсом со свободным формированием шва применяют шланговые полуавтоматы с различными держателями, специализированные аппараты для сварки точечных соединений, пистолеты для приварки шпилек, электрозаклепочники и др.

Для автоматической сварки без внешней защиты дуги и под флюсом со свободным формированием шва применяют одноэлектродные и многоэлектродные подвесные и самоходные сварочные головки, сварочные тракторы и различные специализированные аппараты.

Для одноэлектродной и многоэлектродной сварки без внешней защиты дуги и под флюсом с принудительным формированием шва применяют различные специализированные безрельсовые и рельсовые аппараты.

Сварку без внешней защиты дуги угольным электродом выполняют вручную и в редких случаях с помощью специальных полуавтоматов и автоматов.

Эффективность применения механизированной сварки зависит от совершенства сварочного оборудования и аппаратуры, для развития которых рекомендуется обеспечить: а) максимальную механизацию и автоматизацию технологического цикла сварки; б) комплексную механизацию сварочных работ; в) максимальную производительность и эффективность сварки, в том числе применение сварки одного или нескольких швов одновременно несколькими головками (так называемая многоголовочная сварка); г) применение программного управления для автоматизации сварочных операций; д) унификацию и агрегатирование; е) соблюдение эргономических и эстетических требований к оборудованию.

КЛАССИФИКАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

Современные аппараты для дуговой сварки и наплавки без внешней защиты дуги и под флюсом можно классифицировать по основным признакам.

1. По способу подачи электродной проволоки (ГОСТ 8213—75) с независимой от напряжения на дуге подачей с саморегулированием, с зависимой от напряжения на дуге подачей.

2. По степени механизации сварочного процесса: а) полуавтоматы; б) автоматы.

3. По конструктивно-компоновочным признакам: 1) полуавтоматы (шланговые, прочие); 2) автоматы (подвесные головки, самоходные головки); в) тракторы (рельсовые, безрельсовые).

4. По степени специализации: а) универсальные; б) специализированные.

5. По способу формирования металла шва: а) для сварки со свободным формированием шва (как правило, в нижнем положении); б) для сварки с принудительным формированием шва (как правило, на вертикальной, наклонной и криволинейной поверхностях).

6. По виду электрода (ГОСТ 19521—74): 1) для сварки плавящимся электродом: а) штучным электродом; б) ленточным электродом; в) проволочным электродом; 2) для сварки неплавящимся электродом: а) без присадочного металла; б) с присадочным металлом.

7. По числу дуг с раздельным питанием тока (ГОСТ 19521—74): однодуговые; двухдуговые; многодуговые.

8. По числу электродов с общим подводом сварочного тока (ГОСТ 19521—74): одноэлектродные, двухэлектродные, многоэлектродные.

Сварочные станки и установки для дуговой сварки и наплавки без внешней защиты дуги и под флюсом могут быть разделены на группы.

1. По типам свариваемых или наплавляемых изделий: а) станки и установки для сварки или наплавки плоскостных секций; б) станки и установки для сварки или наплавки балок или других изделий, имеющих один или несколько параллельных между собой швов; в) станки и установки для сварки или наплавки цилиндрических сосудов и других изделий, имеющих круговые, а часто и прямолинейные швы; г) специализированные станки и установки, предназначенные для сварки или наплавки однотипных изделий в массовом производстве.

2. По геометрической форме линии сварного шва или наплавляемой поверхности: а) станки и установки для сварки или наплавки прямолинейных швов; б) станки и установки для сварки или наплавки круговых швов; в) станки и установки для сварки или наплавки швов сложной формы.

3. По степени специализации: а) станки и установки универсальные; б) станки и установки специализированные; в) станки и установки специальные

Аппараты, станки и установки для сварки и наплавки без внешней защиты дуги и под флюсом в зависимости от размеров и массы аппаратов, станков и установок, а также свариваемых изделий делят на аппараты (легкие, средние и тяжелые), станки и установки (малых, средних и больших габаритов)

РАБОЧЕЕ МЕСТО, ИНСТРУМЕНТ И ЗАЩИТНЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОСВАРЩИКА РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ

Элементы оборудования рабочего места в стационарных и монтажных условиях. Увеличение производительности труда электросварщика и повышение качества сварки зависит от условий, в которых производятся сварочные работы, т. е. от того, насколько правильно организовано рабочее место сварщика (сварочный пост).

В зависимости от выполняемой работы, габаритов свариваемых изделий и характера производства рабочее место сварщика может быть расположено непосредственно у свариваемого изделия или в специальных кабинах. Рабочее место сварщика непосредственно у свариваемого изделия организуют при сварке изделий больших размеров. Это, как правило, передвижное рабочее место (сварочный пост), ограниченное переносными рабочими щитами. Рабочее место (сварочный пост) в специальных кабинах оборудуют на постоянных местах при сварке изделий небольших габаритов.

Переносные рабочие щиты и кабины для сварщиков, кроме других функций, служат для защиты рядом работающих сварщиков и других рабочих от излучений электрической дуги.

Кабина для одного сварщика имеет размеры 2 × 2 м или 2 × 2,5 м и высоту не менее 2 м. Для улучшения вентиляции в кабине стены ее не доводят до пола на 200—250 мм. Каркас кабины делают из металла, а стены изготовляют из различных огнестойких материалов и иногда из фанеры. Дверной проем кабины закрывают брезентовым занавесом, подвешенным на кольцах. Полы в кабинах делают из огнеупорных материалов: кирпича, бетона и пр. Окрашивают кабины в светлые тона. В кабине устанавливают следующее оборудование: источник питания (при отсутствии централизованной разводки тока); металлический стол сварщика; стул для сварщика с подъемным винтовым сиденьем; ящик для электродов; ящик для инструмента; стеллажи для деталей и готовых изделий; электропечь для прокалки электродов (устанавливают на заводах, на которых отсутствуют электродные цеха); сетевой закрытый рубильник.

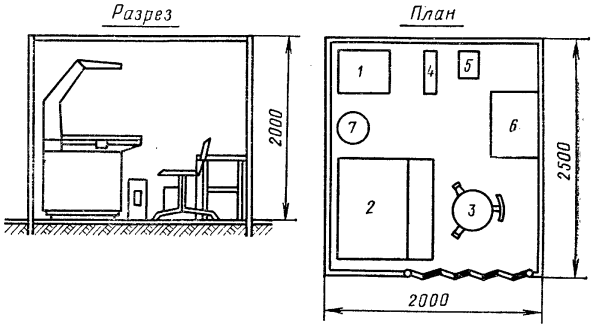


Рис. 1. Сварочная кабина:
1 — источник питания; *2* — стол сварщика; *3* — стул сварщика; *4* — ящик для электродов; *5* — ящик для инструмента; *6* — стеллажи для деталей и готовых изделий; *7* — электропечь для прокалки электродов

При сварке в кабинах на постоянном токе с питанием от генератора постоянного тока для улучшения обслуживания генератор желательно устанавливать за пределами кабины. При питании сварочных постов от многопостовой машины или нескольких параллельно соединенных генераторов источники питания также устанавливают за пределами кабин в специальном помещении.

На рис. 1 показана сварочная кабина для дуговой сварки изделий небольших размеров и примерное размещение в ней оборудования.

Металлический стол сварщика изготовляют высотой 500—700 мм. В случае массовой сборки и сварки деталей в кабине вместо обычного устанавливают поворотный стол с перегородкой посередине, а также дополнительный стул для сварщика. В то время как на одной половине стола сварщик производит сварку, на другой — сборщик собирает детали под сварку. При сварке деталей с круговыми швами или сложной конфигурации в кабине устанавливают кантователь или манипулятор. Вентиляция кабины осуществляется местным отсосом. При этом наибольшую опасность для здоровья сварщиков представляют пыль и газы, которые выделяются в процессе сварки.

Эффективность местного отсоса вредных примесей из зоны дыхания сварщика определяется правильным выбором вентилятора, максимальным приближением вытяжных панелей к месту горения дуги и уменьшением излишних подсосов воздуха путем максимального закрытия места сварки.

Лучшим рабочим столом сварщика является стол с решеткой и вытяжкой газов и пыли в сторону или вниз. Рекомендуются столы ССН-1, ССН-2 и ССН-3 со стулом.

Стол ССН-1 (рис. 2) неповоротный; предназначен для установки на нем деталей и узлов малых и средних размеров при сварке деталей массой не более 60 кг. Стол ССН-2 является вариантом описанного выше стола ССН-1. В нем отсутствует вентилятор. Газоотсос обеспечивается путем подсоединения стола

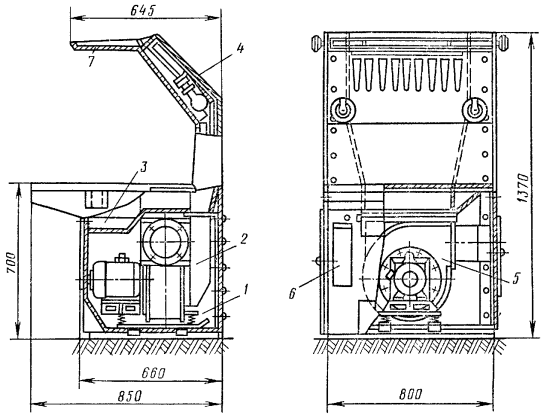


Рис. 2. Стол ССН-1 для сварщика:

1 — станина; *2* — воздуховоды; *3* — выдвижной бункер для сбора брызг; *4* — верхняя наклонная панель; *5* — вентилятор; *6* — колчан для электродов; *7* — козырек

к общецеховой вытяжной системе. Стол ССН-3 по сравнению со столом ССН-1 имеет бо́льшие размеры верхней части панели стола и позволяет устанавливать на нем детали и узлы массой не более 80 кг. Столы ССН-1, ССН-2 и ССН-3 не требуют фундамента и устанавливаются непосредственно на пол.

Техническая характеристика столов ССН приведена в табл. 1.

Для местных газоотсосов применяют специальные фильтры-поглотители. Фильтры позволяют поглощать вредные газы и пыль и возвращать в окружающую среду очищенный воздух. В качестве фильтрующего материала применяют ткань ФПП-15, обладающую высокой поглощающей способностью. За рубежом подобные фильтры изготовляют из бумаги.

При работе сварщика в кабинах, на сборочных площадках (в цехах или вне их), в условиях монтажа различных объектов и особенно внутри емкостей главное внимание необходимо обращать на электробезопасность, строго соблюдая действующие нормы и правила заземления сварочных трансформаторов, дросселей, корпусов рубильников, сварочных столов и пр., а также выполнять все другие требования техники безопасности для данных работ.

Рабочее место сварщика в условиях монтажа должно быть защищено от дождя, снега и ветра, а также ограждено переносными щитами или ширмами. Находящуюся на площадках сварочную аппаратуру также необходимо защищать от дождя и снега. Все участки, где производятся сварочные работы в стационарных или монтажных условиях должны хорошо освещаться дневным или искусственным светом.

1. Техническая характеристика столов ССН-1; ССН-2 и ССН-3

Параметр	ССН-1	ССН-2	ССН-3
Размеры рабочей части стола (длина × × ширина), мм	800×500	800×500	1250×700
Тип вентилятора	Центробежный Ц4-70	—	Центробежный Ц4-70
Мощность вентилятора, кВт	2,5	—	2,5
Электродвигатель вентилятора:			
тип	АО2-11-2	—	АО2-11-2
мощность, кВт	0,8	—	0,8
частота вращения, об/мин	3000	—	3000
Наибольшие размеры свариваемых изделий, мм:			
длина	1000	1000	1000
ширина	500	500	500
высота	600	600	600
Масса свариваемого изделия, кг не более	60	60	80
Габаритные размеры, мм:			
длина	800	800	1395
ширина	850	853	850
высота	1370	1370	1470
Масса, кг	210	173	308

Примечание. Высота рабочей части стола над уровнем пола 700 мм.

Инструмент электросварщика. *Электрододержатель* является основным рабочим инструментом сварщика-ручника. Конструктивное исполнение электрододержателя в значительной мере определяет удобство работы и влияет на производительность труда сварщика. К электрододержателям предъявляются определенные требования. Они должны надежно закреплять электрод при любом положении во время сварки. Электрододержатели должны быть достаточно прочны, удобны в эксплуатации и иметь минимальную массу. Смена электрода должна производиться быстро, без затраты усилий на вставку электрода и удаление огарка. Длина огарка электрода должна быть минимальной. Необходимо предусмотреть термоизоляцию токоведущих и других металлических частей электрододержателей. Электрододержатели должны быть пригодны для работы на открытом воздухе при температуре от —30° С до +55° С и иметь простое надежное соединение со сварочным проводом.

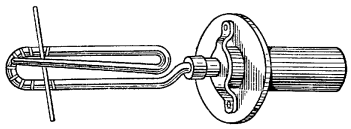


Рис. 3. Электрододержатель вилочного типа

Электрододержатели для сварки незащищенной дугой классифицируются на следующие две группы: а) электрододержатели для металлических электродов; б) электрододержатели для угольных электродов.

Электрододержатели для металлических электродов. Характерным для этих держателей является то, что они имеют разнообразные конструкции. В качестве примера ниже приводятся некоторые из них. *Электрододержатель вилочного типа* (рис. 3) простой конструкции и может быть изготовлен в любой мастерской. Он легкий, имеет хороший контакт с электродом. *Электрододержатель для безогарковой сварки* легкий (масса 270—330 г) и простой в изготовлении. Имеется

экономия электроэнергии и примерно на 10% сокращается расход электродов. При безогарковой сварке электрод сплавляется почти полностью, это достигается за счет того, что он обмазывается на всю длину и приваривается концом к электрододержателю (рис. 4).

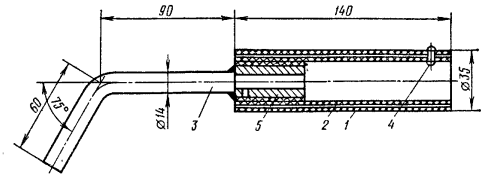


Рис. 4. Электрододержатель для безогарковой сварки:
1, 2 — трубки; *3* — электрододержатель; *4* — заклепка; *5* — шнур асбестовый

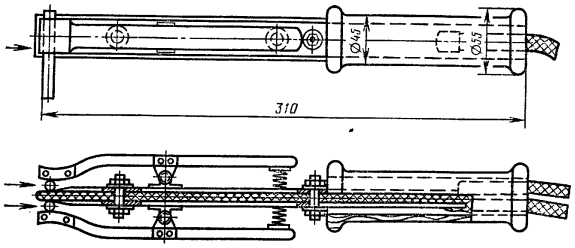


Рис. 5. Электрододержатель для трехфазной сварки двумя параллельными электродами

Электрододержатели для трехфазной сварки. Основным требованием, предъявляемым к этим электрододержателям, является возможность свободной манипуляции электродами в любом направлении и исключение возможности замыка-

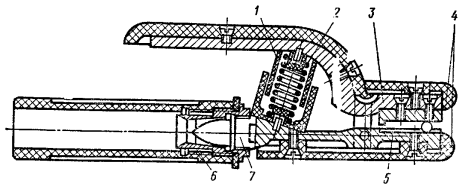


Рис. 6. Электрододержатель ЭП пассатижного типа:
1 — колпачок; *2* — пружина; *3* — рычаг; *4* — теплостойкие пластмассовые детали; *5* — токоподводящая губка; *6* — корпус резьбовой втулки; *7* — конус нижней губки

ния между фазами, подведенными к разным губкам электрододержателя. На рис. 5 представлен электрододержатель с двумя контактами (изолированными друг от друга), предназначенный для трехфазной сварки двумя параллельными электродами.

2. Техническая характеристика электрододержателей

Параметр	ЭП-2	ЭП-3	ЭД-125	ЭД-315	ЭД-500	ЭР-1	ЭР-2	ЭВ-2	ЭВ-3	ЭВ-4	ЭДС-125	ЭДС-315
Сварочный ток, А	250	500	125	315	500	300	500	500	315	125	125	315
Диаметр электродов, мм	До 5	6—8	1,6—3	2—6	4—10	До 6	6—8	6—8	4—6	До 4	До 4	3—6
Сечение подсоединяемого сварочного кабеля, мм²	50	70	25	50	70	50	70	70	50	35	25	50
Габаритные размеры, мм:												
длина	250	325	249	266	293	220	260	270	235	230	195	225
ширина	40	37	32	36	40	48	50	—	—	—	—	—
высота	80	95	74	84	92	80	85	—	—	—	—	—
Диаметр, мм	—	—	—	—	—	—	—	50	47	45	42	48
Масса, кг	0,43	0,8	0,32	0,48	0,62	0,52	0,72	0,5	0,37	0,27	0,22	0,34

Электрододержатели ЭП (рис. 6) *пассатижного типа* предназначены для сварки и наплавки швов во всех пространственных положениях на токах до 250 А (ЭП-2) и до 500 А (ЭП-3). Электрод зажат между токоподводящей губкой *5* и рычагом *3*. Усилие зажима электрода создается пружиной *2*, защищенной пластмассовыми колпачками *1*. Удаление огарка из электрододержателя и замена его новым электродом производится нажатием на рычаг *3*. Электрическое контактное

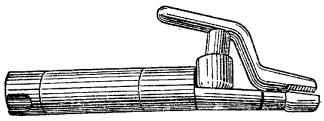


Рис. 7. Электрододержатель пассатижного типа

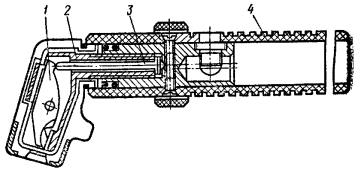


Рис. 8. Электрододержатель ЭР с рычажным зажимом:
1 — рычаг; *2* — токоподводящий наконечник; *3* — толкатель; *4* — рукоятка

соединение сварочного кабеля с электрододержателем осуществляется путем заклинивания его между конусом *7* нижней губки и корпусом *6* резьбовой втулки. Такое соединение обеспечивает надежный контакт между кабелем и электрододержателем. Кроме того, это соединение разъемное и поэтому позволяет быстро отсоединять и присоединять сварочный кабель.

Изоляция электрододержателей осуществляется теплостойкими пластмассовыми деталями *4*. Техническая характеристика электрододержателей ЭП приведена в табл. 2.

Электрододержатели ЭД пассатижного типа (рис. 7) имеют то же назначение, что и электрододержатели типа ЭП; предназначены для сварки и наплавки швов во всех пространственных положениях на токах до 125 А (ЭД-125), до 315 А (ЭД-315) и до 500 А (ЭД-500). Удаление огарка из электрододержателя и замену

его новым электродом выполняют так же, как в электрододержателях ЭП. Сварочный кабель соединяют с электрододержателем с помощью кабельного наконечника. Электрододержатели изолированы теплостойкими пластмассовыми деталями. Техническая характеристика электрододержателей ЭД приведена в табл. 2.

Электрододержатели ЭР (рис. 8) *с рычажным зажимом* предназначены для сварки и наплавки швов в нижнем и вертикальном положениях на токах до 300 А (ЭР-1) и до 500 А (ЭР-2). Электрод зажимается под углом 70° к продольной оси электрододержателя между токоподводящим наконечником *2* и рычагом *1* с помощью толкателя *3*, перемещаемого в осевом направлении при вращении рукоятки *4*. Изоляция электрододержателей осуществлена с помощью теплостойких

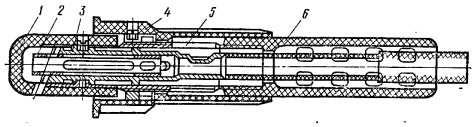


Рис. 9. Электрододержатель ЭВ винтового типа:
1 — колпачок; *2* — ползун; *3* — токоподвод; *4* — накладка; *5* — радиатор; *6* — рукоятка

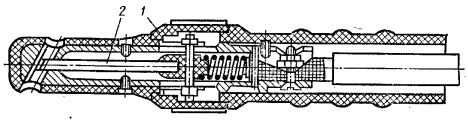


Рис. 10. Электрододержатели ЭДС защелочного типа:
1 — муфта; *2* — прижимной стержень

пластмассовых деталей. Техническая характеристика электрододержателей ЭР приведена в табл. 2.

Электрододержатели ЭВ (рис. 9) *винтового типа* предназначены для сварки и наплавки в нижнем и вертикальном положениях на токах до 125 А (ЭВ-4); до 315 А (ЭВ-3) и до 500 А (ЭВ-2). Электрод зажимается под углом 70° к продольной оси электрододержателя между ползуном *2* и токоподводом *3*. Электрододержатели изолированы с помощью теплостойких пластмассовых деталей: колпачка *1*, накладки *4* и рукоятки *6*. Соединение сварочного кабеля с электрододержателем неразъемное; оно выполняется путем опрессовки кабеля в токоподводе *3*.

Для рассматриваемых электрододержателей характерным является введение в конструкцию специальной детали — радиатора *5*, предназначенного для предотвращения перегрева рукоятки электрододержателя. Техническая характеристика электрододержателей ЭВ приведена в табл. 2.

Электрододержатели ЭДС (рис. 10) *защелочного типа* предназначены для сварки и наплавки в нижнем и вертикальном положениях на токах до 125А (ЭДС-125) и до 315 А (ЭДС-315). Особенностью электрододержателей ЭДС является то, что устройство для крепления электродов снабжено поворотной втулкой с фигурными выступами, которая вращаясь вместе с муфтой *1* воздействует на прижимной стержень *2*. Поворачивая муфту *1* в любую сторону, можно зажимать электрод и освобождать его огарок. Это упрощает эксплуатацию электрододержателя, и специальные навыки сварщику не требуются. Сварочный кабель прикрепляется к электрододержателям с помощью специальных винтов.

Техническая характеристика электрододержателей ЭДС приведена в табл. 2.

Электрододержатели для угольных электродов различаются по конструкции. В качестве примера на рис. 11 показан электрододержатель с успокоительным соленоидом для предотвращения блуждания дуги. Соленоид состоит из нескольких витков медной водоохлаждаемой трубки. Один его конец зажимается в электрододержателе, а на другом — крепится электрод.

Стальные щетки служат для очистки места сварки от ржавчины и грязи до начала сварки и для очистки сварного шва после сварки. Щетки бывают разной конструкции и формы.

Молоток, один конец которого выполнен в форме зубила, служит для отбивки шлака со шва; другой конец молотка тупой; служит для работы с зубилом и нанесения удара по клейму.

Зубило применяют для зачистки сварного шва, подрубки его наплывов, зачистки мест около шва от брызг, отбивки шлака со шва и др.

Наборы инструмента для сварщика марки ЭНИ-300 применяют для сварки на токах до 300 А, марки ЭНИ-500 — для сварки на токах до 500 А. Все инструменты, входящие в набор, разделены на две группы: а) специальный инструмент (электрододержатель, соединительная муфта, клемма заземления, щетка-зубило, запасные части к электрододержателю); б) слесарно-монтажный инструмент (отвертка с диэлектрической ручкой, плоскогубцы комбинированные, ручка диэлектрическая, ключ разводной, клеймо сварщика, молоток).



Рис. 11. Электрододержатель для угольного электрода с успокоительным соленоидом

Комбинированный инструмент — шлакоотделитель ШЗ-1 предназначен для отбивки шлака и зачистки сварных швов. Щетка для зачистки швов легко снимается при замене ее новой; при отбивке шлака можно легко менять положение лезвия зубильного инструмента, устанавливая его параллельно или перпендикулярно к продольной оси шва. Недостатком этого инструмента является некоторая громоздкость и отсутствие заостренного конца, позволяющего отбивать шлак в углубленных местах сварного шва.

Зубильный шлакоотделитель состоит из зубильного лезвия и металлического стержня, заканчивающегося резиновой ручкой. Наличие резиновой ручки снижает нагрузку на руку.

Переносные машинки, снабженные наждачным кругом или проволочной щеткой, служат для механической зачистки сварных швов.

Пневматические молотки с зубилами применяют для механической зачистки сварных швов.

Шаблоны сварщики используют для измерения конструктивных элементов свариваемых деталей и швов сварных соединений.

В качестве примера на рис. 12 представлены схемы применения шаблонов ШС-2 в различных случаях.

Стальное клеймо служит для клеймения швов. Имеет цифру или букву, присвоенную сварщику, что позволяет установить его личную ответственность за качество сварки.

Защитные приспособления. Щитки и маски (шлемы) (рис. 13) служат для предохранения лица и глаз от брызг расплавленного металла, искр и излучений. Во время работы сварщик щиток держит в руке, а маску надевает на голову. Щитки и маски изготовляют из легкого изолирующего негорючего материала, например из листовой фибры. Щиток и маска имеют смотровое окошко со светофильтром из специального цветного защитного стекла, которое задерживает опасные излучения дуги. Снаружи дорогое цветное стекло защищено сменным обычным (оконным) стеклом для защиты светофильтра от брызг металла. Габаритные

размеры щитков и масок должны быть следующие (мм, не менее): высота 300, ширина 220, глубина 150. Рамка щитков и масок, предназначенная для установки светофильтра и прозрачного покровного стекла, должна иметь размеры в свету

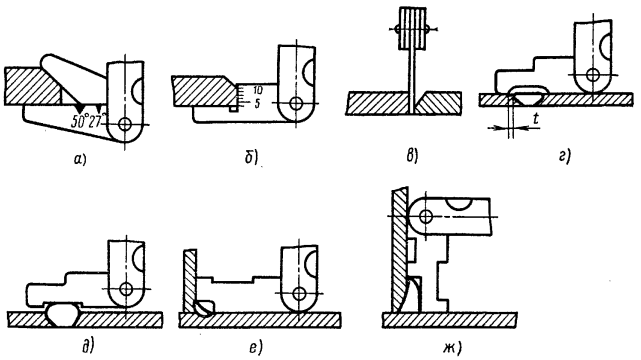


Рис. 12. Схемы применения шаблонов ШС-2 для проверки:
а — угла разделки кромок; *б* — притупления кромок; *в* — зазора между кромками; *г* и *д* — ширины шва и высоты усиления шва при сварке стыковых соединений; *е* — катета при сварке тавровых соединений; *ж* — ширины шва и высоты усиления шва при сварке тавровых и угловых соединений

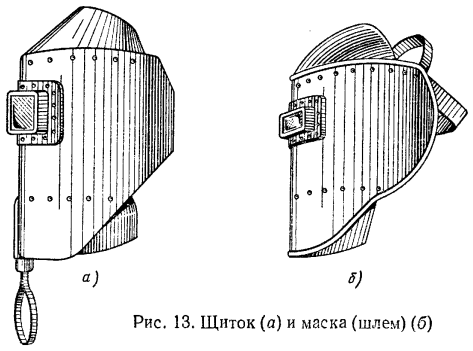


Рис. 13. Щиток (*а*) и маска (шлем) (*б*)

40 × 90 мм. Корпуса масок новой конструкции выполнены бесшовными, цельнотянутыми из листовой фибры. Это выгодно отличает новый корпус от прежнего, соединенного на заклепках.

Разработаны также маски, корпус которых изготовлен из пластика марки ДСВ-2Р (ТУ НИИПМ.П390—64). Этот пластик легко подвергается обработке методом прямого прессования в пресс-формах на гидравлических прессах при 100—150° С. В новых конструкциях масок учтены требования техники безопасности по предотвращению возможности поражения сварщика электрическим током.

На базе единого корпуса разработано несколько конструкций масок: 1) маска со стандартным светофильтром размером 52 × 102 мм; 2) маска с открывающимся светофильтром для применения при сварке в стесненных условиях, а также при подрубке и зачистке сварного шва от шлака; 3) маска со светофильтром размером 80 × 102 мм для увеличения обзорности при сварке; 4) маска, смонтированная на каске монтажника, для эксплуатации в условиях монтажных работ и др.

Спецодежду электросварщика изготовляют из плотного брезента или сукна. Спецодежда не должна иметь открытых карманов. Обувь должна иметь глухой верх. Рукавицы сварщика необходимо изготовлять из кожи, плотного брезента или асбестовой ткани. При работе в закрытых сосудах сварщик должен пользоваться диэлектрическими калошами и резиновым ковриком, испытанными на электрический пробой в соответствии с правилами техники безопасности.

АППАРАТЫ ДЛЯ ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ

Шланговые полуавтоматы общего применения. Полуавтомат А765 (рис. 14) предназначен для сварки и наплавки порошковой и легированной сплошной проволоками без внешней защиты дуги. Полуавтомат состоит из механизма типа ПМ-2 (А795Р) для подачи электродной проволоки, набора шлангов с ручными горелками (держателями) типа А792М и А836Р, шкафа управления А1112М и фигурки или катушки для электродной проволоки.

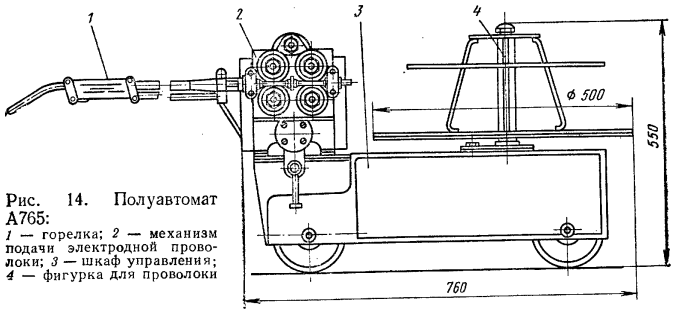


Рис. 14. Полуавтомат А765:
1 — горелка; *2* — механизм подачи электродной проволоки; *3* — шкаф управления; *4* — фигурка для проволоки

Возможны три варианта компоновки полуавтоматов: 1) для стационарных (цеховых) условий — все узлы монтируются на шкафу управления; радиус обслуживания примерно 3 м; 2) для сварки крупногабаритных корпусных деталей и каркасных узлов; механизм подачи с держателем отделяется от шкафа управления; радиус обслуживания 8 м; 3) для сварки в труднодоступных местах; механизм подачи отделяется от шкафа управления, снабжается небольшой катушкой для электродной проволоки и может быть отнесен от шкафа управления на расстояние до 15 м; механизм подачи устанавливают на полу или закрепляют непосредственно на свариваемом изделии.

Серийно изготовляют полуавтомат в компоновках для стационарных условий и для сварки в труднодоступных местах. Механизм подачи ПМ-2 снабжен двигателем переменного тока. Скорость подачи настраивают с помощью сменных зубчатых колес. Характерной особенностью механизма является то, что проволока подается с помощью двух пар приводных подающих роликов, расположенных

3. Техническая характеристика шланговых полуавтоматов для сварки открытой дугой и под флюсом

Полуавтомат	Защита зоны сварки	Диаметр электродной проволоки сплошного сечения, мм	$I_{св}$ при ПВ = 65%, А	Скорость подачи электродной проволоки $v_п$, м/ч	Регулирование скорости подачи $v_п$	Источник питания	Длина шланга, м	Габаритные размеры механизма подачи, мм	Масса механизма подачи, кг	Тип двигателя механизма подачи и мощность, Вт
Общего применения, изготовляемые серийно										
А765	Без внешней защиты	1,6—2,0	До 450	58—580	Ступенчатое	ПСГ-500	3,5	760×500×550	52,0	АОЛ12-4, 180
А1197С (ПС-5-Ф)	Флюс	1,6—3,0	До 500	92—920	»	ВДУ-504	3,0	960×660×560	35,0	АОЛ12-4, 180
Специализированные, изготовляемые промышленными партиями										
А1114М	Без внешней защиты	1,6—2,0	До 500	106—428	Ступенчатое	ПСГ-500	2,5	364×290×130	10,5	Д-35, 35
А1530	Ванная под флюсом	1,6—2,0	500	I ступень 200—250 (первый цикл сварки) II ступень 400—500 (второй цикл сварки) III ступень 850—1000 (третий цикл сварки)	Плавное в пределах ступеней I, II и III	ПСГ-500	2,5	550×300×230	20,0	СЛ-571К, 95
		2,2—2,8 *1								

*1 Порошковая проволока.

последовательно. Этим обеспечивается надежное проталкивание проволоки через канал большой длины даже при сравнительно небольшом усилии сжатия роликов, что важно при сварке порошковой проволокой. Электродная проволока подается к ручной горелке механизмом подачи по направляющему каналу шланга. В зависимости от типа и диаметра проволоки шланг легко снимается и заменяется. В другом шланге находится кабель для подвода сварочного тока. Входящие в комплект полуавтомата горелки предназначены: А792М — для сварки сплошной и порошковой проволокой на токах до 450 А; А836 — для сварки тонкой проволокой на токах до 250 А. Техническая характеристика полуавтомата А765 представлена в табл. 3.

Универсальный полуавтомат А1197 в зависимости от исполнения предназначен для сварки открытой дугой, под флюсом или в защитной среде углекислого газа, проволокой сплошного сечения или порошковой. Серийно изготовляется полуавтомат только в двух исполнениях: а) для сварки под флюсом — исполнение А1197С (ПС-5-Ф); б) для сварки в защитной среде углекислого газа — исполнение А1197С (ПС-5-Г) и исполнение А1197П (ПП-5-Г). Полуавтомат независимо от компоновки и способа сварки имеет механизм подачи, шкаф управления, а также сварочный провод и провода управления. В зависимости от способа сварки полуавтомат комплектуют горелкой для сварки открытой дугой, горелкой в комплекте с бункером для сварки под флюсом или горелками для сварки в углекислом газе и газовой аппаратурой.

В соответствии с условиями работы полуавтоматы могут комплектоваться тележкой и фигуркой для большого объема проволоки (стационарный вариант) или кронштейном и катушкой для малого объема электродной проволоки (переносной вариант). Техническая характеристика полуавтомата А1197С (ПС-5-Ф) представлена в табл. 3.

Шланговые полуавтоматы специализированные. Полуавтомат А1114М предназначен для сварки открытой дугой активированной проволокой стыков арматурных стержней диаметром 6—70 мм, закладных деталей и листовых металлоконструкций в монтажных условиях. Полуавтомат состоит из горелки с шлангом, механизма подачи, катушки для электродной проволоки и сварочного провода. Механизм подачи вместе с катушкой для электродной проволоки смонтирован в компактном металлическом ящике. Особенностью полуавтомата является питание механизма подачи от источника сварочного тока, что позволило исключить необходимость применения шкафа и кабелей управления.

Техническая характеристика полуавтомата А1114М приведена в табл. 3.

Полуавтомат А1530 предназначен для ванной дуговой сварки под флюсом арматуры железобетонных конструкций диаметром 36—40 мм. Малые масса и габаритные размеры переносных узлов полуавтомата, а также отсутствие кабелей управления позволяют применять его для сварки в монтажных условиях. Полуавтомат состоит из горелки с шлангом, механизма подачи со встроенной аппаратурой управления, катушки для электродной проволоки и сварочного провода длиной 30 м. Полуавтомат комплектуется горелкой для сварки сплошной проволокой диаметром 1,6—2,0 мм и горелкой для сварки порошковой проволокой диаметром 2,2—2,8 мм. Электросхема полуавтомата обеспечивает его работу в двух режимах: наладка и сварка. Режим наладки предназначен для заправки сварочной проволоки и предварительной настройки скорости подачи проволоки для первого цикла сварки. Режим сварки состоит из трех циклов, которым соответствуют три ступени подачи сварочной проволоки. В первом цикле, который длится 1,5—2,0 мин (на скорости подачи 200—250 м/ч, сварочный ток 200—250 А), разводится сварочная ванна и происходит расплавление флюса. Во втором, основном цикле происходит подача проволоки на скорости 400—500 м/ч. При этом специальная дополнительная обмотка возбуждения, по которой протекает ток сварки (400—500 А), обеспечивает автоматическое регулирование скорости подачи проволоки в соответствии со сварочным током. В конце сварки переходят на третий цикл длительностью около 1 мин. При этом скорость подачи возрастает до 850—1000 м/ч, а сварочный ток до 600—650 А. Переключение циклов в режиме «сварка»

производится кнопкой, расположенной на сварочной горелке. Техническая характеристика полуавтомата А1530 представлена в табл. 3.

Кроме описанных выше полуавтоматов общего применения для сварки открытой дугой и под флюсом в промышленности применяются ранее выпускавшиеся полуавтоматы: 1) А936 конструкции ИЭС им. Е. О. Патона; предназначен для сварки и наплавки на токах до 450 А электродной проволокой диаметром 1,6—2,0 мм под слоем флюса; 2) универсальный полуавтомат А1035 конструкции ИЭС им. Е. О. Патона; предназначен для сварки и наплавки на токах до 450 А сплошной (диаметром 1,6—2 мм) и порошковой (диаметром 2,2—2,5 мм) проволокой открытой дугой, под флюсом и в углекислом газе; 3) полуавтомат ПДШМ-500; предназначен для сварки и наплавки на токах до 500 А электродной проволокой диаметром 1,6—2,5 мм под слоем флюса. Полуавтомат ПДШМ-500 снабжен системой подачи флюса к месту сварки с помощью пневматического устройства нагнетательного действия, работающего от заводской сети сжатого воздуха. Описание и техническая характеристика указанных полуавтоматов приведены в литературе, которая указана в конце главы.

АППАРАТЫ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ

Аппараты общего применения для автоматической сварки. Самоходный универсальный аппарат АБСК предназначен для сварки продольных и кольцевых швов, стыковых, угловых и нахлесточных соединений металла толщиной 5—30 мм. Аппарат состоит из трех узлов (А, Б и С), из которых можно комплектовать аппараты трех типов: а) подвесную головку А; б) подвесной автомат АБ с подъемным механизмом и флюсоаппаратом; в) самоходный автомат АБС (АБСК). Путем замены мундштука и некоторых других деталей предусмотрена возможность вести сварку расщепленным электродом, наплавку ленточным электродом или вести сварку открытой дугой. Техническая характеристика аппаратов АБСК представлена в табл. 4.

Самоходные унифицированные автоматы А1401, А1410, А1412, А1416, А1419 и А1422; на этих автоматах осуществляют сварку продольных и кольцевых швов, стыковых, угловых и нахлесточных соединений. Автоматы этой серии имеют механизированные приводы вертикального и поперечного перемещения мундштука. В них предусмотрена возможность применения систем слежения по вертикали и поперек стыка, имеется маршевая скорость, замкнутая система циркуляции флюса; при необходимости автоматы оснащают вибратором электрода и устройством для широкослойной наплавки. Автоматы предназначены для использования их в составе высокоавтоматизированных установок, в поточных и автоматических линиях. Базовым в этой серии является автомат А1401 (рис. 15). Техническая характеристика автоматов представлена в табл. 4.

Самоходный автомат УДФ-1001У4 предназначен для трехфазной сварки и наплавки двумя плавящимися электродами на переменном токе низкоуглеродистых, среднеуглеродистых и легированных сталей. Автомат позволяет выполнять сварку в нижнем положении: стыковых соединений с V-образной разделкой глубиной до 5 мм при минимальном угле раскрытия 50° без зазора; стыковых соединений с V-образной разделкой глубиной до 50 мм при минимальном угле раскрытия 40° с зазором не менее 4 мм; угловых соединений «в лодочку» при минимальном угле между свариваемыми кромками 40° Техническая характеристика автомата приведена в табл. 4.

Аппараты специализированные для автоматической сварки. Подвесной автомат А1423 предназначен для многослойной сварки с программированием раскладки сварных валиков. Раскладка валиков осуществляется с помощью кулачков, воздействующих на механизм подъема штанги и обеспечивающих качание мундштука. Автомат А1423 скомпонован в основном из унифицированных узлов базового автомата А1401.

Самоходные автоматы А1403 и А1425 скомпонованы из унифицированных узлов базового автомата А1401. Предназначены: первый для многоголовочной сварки стыковых продольных швов полотнищ; второй — для сварки коротких прерывистых швов с препятствиями. Для обеспечения направления электрода по стыку автомат А1403 снабжен следящей системой. Для быстрого подъема и опускания сварочной головки при преодолении препятствий в виде перегородок и т. п. аппарат А1425 снабжен пневматическим устройством. Техническая характеристика автоматов А1403 и А1425 представлена в табл. 4.

Самоходный автомат А1208С предназначен для сварки порошковой проволокой без внешней защиты дуги или сплошной проволокой в углекислом газе над устьем скважины стыков обсадных труб диаметром 127—325 мм при толщине стенки 6—12 мм. Аппарат состоит из вращателя с пневматическим подъемником и сварочной головки с механизмом подачи и двумя мундштуками. Вращатель имеет установочные призмы и пневмозажимы для установки аппарата на свариваемой трубе. Настройка на стык по вертикали осуществляется пневмоподъемником. Аппарат может работать в условиях северных районов при температуре —30° С. При работе аппарат подвешивается на тросе, закрепленном на буровой вышке. Техническая характеристика аппарата представлена в табл. 4.

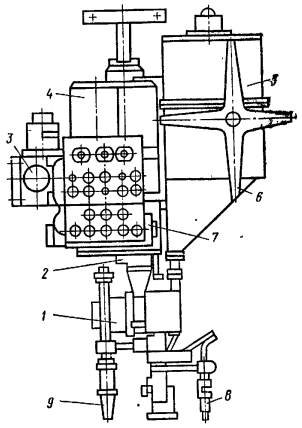


Рис. 15. Базовый унифицированный сварочный автомат А-1401:
1 — механизм подачи электродной проволоки; *2* — суппорт поперечной настройки; *3* — самоходная тележка; *4* — штанга; *5* — флюсоаппарат; *6* — катушка с тормозом; *7* — механизм подъема; *8* — датчик слежения; *9* — флюсоотсос

Большой интерес представляют созданные Институтом электросварки им. Е. О. Патона специализированные унифицированные автоматы для сварки под флюсом внутренних и наружных продольных швов тонкостенных прямошовных газо- и нефтепроводных труб и других изделий, изготовляемых из листа. В числе наиболее распространенных, успешно работающих в промышленности, можно отметить унифицированные автоматы: А1448 и А1599 — для внутренних продольных стыковых швов и А1373 — для наружных продольных стыковых швов. Данные об этих автоматах опубликованы в литературе, которая приведена в конце главы.

Аппараты общего применения для автоматической наплавки. Подвесной автомат А384МК предназначен для наплавки изделий, представляющих собой тела вращения или плоские. Автомат А384МК скомпонован на базе узлов автомата АБСК (комплект АБ) и в отличие от АБСК вместо ручного механизма вертикального перемещения снабжен моторным механизмом вертикального перемещения. Техническая характеристика автомата А384МК приведена в табл. 4.

Подвесной автомат А580М предназначен для автоматической наплавки под флюсом круглых деталей типа деталей сельскохозяйственных и строительных машин, коленчатых валов и т. п. Автомат А580М представляет собой сварочную головку облегченного типа, закрепленную на колонке с подъемным механизмом. Монтируется он на суппорте токарного станка, функции которого сводятся к вращению наплавляемой детали и продольной подаче аппарата на шаг наплавки. Перемещение головки по высоте осуществляется вручную с помощью специаль-

4. Техническая характеристика аппаратов для автоматической сварки и наплавки открытой дугой и под флюсом

Аппарат	Исполнение	Защита зоны сварки или наплавки	Диаметр проволоки (ширина ленты), мм	$I_{св}$ при ПВ = 65%, А	Скорость подачи электродной проволоки $v_п$, м/ч	Регулирование скорости подачи $v_п$	Скорость сварки (наплавки) $v_{св}$, м/ч	Источник питания	Габаритные размеры аппарата (длина × × ширина × × высота), мм	Масса, кг
Аппараты общего применения для автоматической сварки										
АБСК	Самоходный	Флюс	2,0—6,0	300—1200	28—220	Ступенчатое	14—110	ТДФ-1001	760×710×1750	160
А1401	То же	»	2,0—5,0	1000	53—532	Плавное	12—120	ТДФ-1001	1160×870×1660	325
А1410	»	»	2,0—6,0	2000	53—532	»	24—240	ТДФ-1601	1150×870×1660	325
А1412	»	»	2,0—5,0	2×1600	53—532	»	24—240	ТДФ-1601 2 шт.	1405×890×1920	390
А1416	»	»	2,0—5,0	1000	47—508	Ступенчатое	12—120	ВДУ-1001	1160×870×1660	320
А1419	»	»	2,0—6,0	2000	47—508	»	24—240	ТДФ-1601	1160×870×1660	320
А1422	»	»	2,0—5,0	2×1600	47—508	»	24—240	ТДФ-1601	1405×890×1920	390
УДФ-1001У4	»	»	2,5—3,0	400—1000	200—600	Плавное	18—50	ТШС-1000-3	1350×1100××2200	400
Аппараты специализированные для автоматической сварки										
А1423	Подвесной	Флюс	1,6—3,0	300	45—450	Плавное	—	ВДУ-504 или ВС-600	760×840×1670	210
А1403	Самоходный	»	2,0—5,0	2×1600	53—530	»	24—240 (ступенчато)	ТДФ-1601 ТДФ-1001	1200×840×2215	340
А1425	То же	»	4,0—5,0	1000	50—500	»	12—120	ТДФ-1601	900×600×1650	500
А1208С	Подвесной	Без внешней защиты или углекислый газ	1,6 сплошная, 2,0—2,5 порошковая	200	102—196	Ступенчатое	10—25	ПСГ-500	740×760×2100	345
Аппараты общего применения для автоматической наплавки										
А384МК	То же	Флюс	3,0—5,0 (20—100)	1000 *1	28,5—225	Ступенчатое	—	ПСО-500	650×850×1600	135
А580М	»	»	1,0—3,0	400 *1	48—408	То же	—	ПСО-500	925×1200×1250	84
А874Н	Самоходный	Флюс или без внешней защиты	2,0—7,0	1000 *1	5—90	Плавное	5—116	ВДУ-1001	1100×810×2000	285
Аппараты специализированные для автоматической наплавки										
А1406	Подвесной	Без внешней защиты, флюс или углекислый газ	2,0—5,0	1000 *1	50—500	Плавное	—	ВДУ-1001	920×980×1690	250
А1408	»	Без внешней защиты, или углекислый газ	1,6—3,0	500 *1	50—500	»	—	ВДУ-504	620×1200×1020	170
А1409	»	Без внешней защиты или флюс	1,6—3,0	300 *1	50—500	»	—	ВДУ-504	700×1395×1720	230
Тракторы общего применения для автоматической сварки однодуговые										
ТС-17М-1	—	Флюс	1,6—5,0	200—1000	52—403	Ступенчатое	16—126	ТДФ-1001	715×345×540	45
ТС-42	—	»	2,0—5,0	До 1000	60—1000	То же	12—120	ТДФ-1001	700×310×450	40
АДС-1000-4	—	»	2,0—5,0	400—1200	60—360	Плавное	12—120	ТДФ-1001	1010×370×665	65
АДС-1000-5	—	»	2,0—5,0	400—1200	60—360	»	12—120	ВДУ-1001	1010×370×665	65
АДФ-1001	—	»	3,0—5,0	400—1200	60—360	»	12—120	ТДФ-1001	1050×365×656	60
АДФ-1004	—	»	3,0—5,0	1000—1200	60—360	»	12—120	ВДУ-1001	1050×365×656	60
АДФ-1602	—	»	3,0—6,0	600—1800	60—360	»	12—120	ВДУ-1601	1050×365×656	60
Тракторы специализированные для автоматической сварки										
ТС-32	—	Флюс	2,0—5,0	До 900	137—284	Ступенчатое	24—50	ТДФ-1001	805×495×440	45
ТС-44	—	»	3,0—6,0	1600	60—360	Плавное	8—45	ВДУ-1601	940×610×390	115
ДТС-38	—	»	2,0—5,0	2×1600	58—580	Ступенчатое	16—160	ТДФ-1601 (2 шт.)	900×410×930	85

*1 При ПВ = 100%.

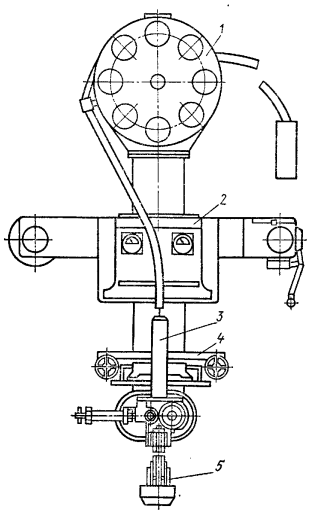


Рис. 16. Аппарат А874Н:
1 — кассета с электродной проволокой; *2* — пульт управления; *3* — правильный механизм; *4* — корректирующее устройство; *5* — мундштук

ного механизма. Техническая характеристика автомата представлена в табл. 4.

Самоходный аппарат А874Н (рис. 16) предназначен для наплавки тел вращения, плоских деталей и изделий сложной конфигурации; рассчитан на длительную непрерывную работу. Техническая характеристика аппарата представлена в табл. 4.

Аппараты специализированные для автоматической наплавки. Подвесные автоматы А1406, А1408 и А1409 скомпонованы из узлов рассмотренного выше базового унифицированного автомата А1401. Применяются в станках У651, У652, У653 и У654 для наплавки различных быстроизнашивающихся деталей типа тракторов и сельскохозяйственных машин и механизмов (табл. 5). Техническая характеристика автоматов А1406, А1408 и А1409 представлена в табл. 4.

Тракторы общего применения для автоматической сварки однодуговые. Трактор ТС-17М-1 (рис. 17) предназначен для сварки стыковых швов с разделкой кромок и без нее, угловых швов наклонным электродом и нахлесточных соединений. Швы могут быть прямолинейными и кольцевыми. Минимальный диаметр внутреннего кольцевого шва 1200 мм. Техническая характеристика трактора ТС-17М-1 приведена в табл. 4.

Трактор ТС-42 предназначен для сварки продольных стыковых и кольцевых швов с разделкой и без разделки кромок, а также угловых соединений «в лодочку» и «в тавр». Минимальный диаметр внутреннего кольцевого шва 800 мм. Техническая характеристика трактора ТС-42 представлена в табл. 4.

Тракторы АДС-1000-4, АДС-1000-5, АДФ-1001, АДФ-1004 и АДФ-1602 предназначены для сварки стыковых и угловых соединений. Они представляют собой четырехколесную тележку, на которой укреплены сварочная головка с механизмом подачи электродной проволоки, кассета для электродной проволоки, бункер для подачи флюса и пульт управления процессом сварки. Сварка стыковых соединений автомата возможна как внутри, так и вне колеи колес. Сварочная головка поворачивается в необходимое положение над швом с помощью маховичка на колонке трактора. Для сварки угловых соединений сварочная головка поворачивается на 45°. При этом бункер для флюса следует установить

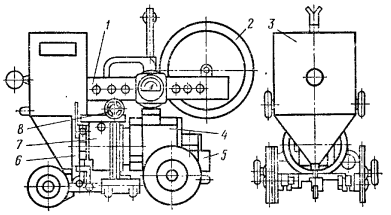


Рис. 17. Трактор ТС-17М-1:
1 — пульт управления; *2* — кассета для электродной проволоки; *3* — бункер для флюса; *4* — электродвигатель; *5* — ходовой механизм; *6* — мундштук; *7* — сварочная головка; *8* — корректировочный механизм

5. Техническая характеристика наплавочных станков общего назначения из унифицированных узлов

Характеристика	Станок			
	У651	У652	У653	У654
Наплавочный аппарат	А1408	А1409	А1406	А1406
Наплавляемая поверхность	Наружные поверхности валов, шлицы	Коренные и шатунные шейки с галтелями коленчатых валов	Наружные и внутренние цилиндрические, конические, плоские поверхности и т. д.	Наружные цилиндрические, конические, шлицы
Наплавляемая деталь:				
диаметр, мм	20—150 (500) *	100	50—800	50—800
длина, мм	1300	1300	1300	1300
масса, кг	150	150	200	200
Наплавка проволокой диаметром, мм:				
под флюсом	—	1—2	2—5	3—5
порошковой без внешней защиты	2—3	2—2,5	2—3,6	2—2,5
сплошной в CO_2	1—2	—	—	—
Габаритные размеры станка, мм:				
длина	2720	2720	2720	2900
ширина	1800	1800	1400	1400
высота (максимальная)	2050	2900	3050	3050
Масса, кг	1580	1630	1740	1840
Особые характеристики	Вариант исполнения одно- и двухмундштучный	Наплавка шейки и галтели автоматическая по кулачку	Для внутренней наплавки специальная приставка на аппарате	Станок имеет две позиции, обслуживаемые поочередно

* При массе изделия не более 150 кг.

в положение, близкое к вертикальному. Техническая характеристика тракторов приведена в табл. 4.

Тракторы специализированные для автоматической сварки. Тракторы ТС-32 и ТС-44 предназначены для однодуговой сварки стыковых соединений листового материала за один проход на скользящей водоохлаждаемой медной подкладке с одновременным формированием обратной стороны шва. Во время сварки тракторы передвигаются непосредственно по свариваемому изделию. Совмещение свариваемых кромок и формирование обратной стороны шва производится в процессе сварки с помощью скользящей медной подкладки, соединенной с корпусом трактора пластиной, которая проходит через зазор стыка свариваемого изделия. Толщина металла, свариваемого трактором ТС-32, 2—12 мм, а трактором ТС-44 6—22 мм. Техническая характеристика тракторов ТС-32 и ТС-44 представлена в табл. 4.

Трактор ДТС-38 (рис. 18) предназначен для двухдуговой сварки стыковых и угловых швов. Угловые швы можно сваривать с углом наклона электродов к вертикальной стенке 35° и «в лодочку». Техническая характеристика трактора ДТС-38 представлена в табл. 4.

Автоматы для вибродуговой наплавки. Вибродуговые автоматы применяют, главным образом, для восстановления наплавкой деталей малых размеров (шеек валов и т. п.). С помощью этих автоматов на деталь наносится тонкий слой металла без заметной ее деформации. При работе автомата в момент наплавки дуга горит между деталью и плавящимся электродом, который с помощью специального механизма вибрирует в направлении своей оси. Вибрирование электрода вызывает кратковременные замыкания и разрывы сварочной цепи. Длительность

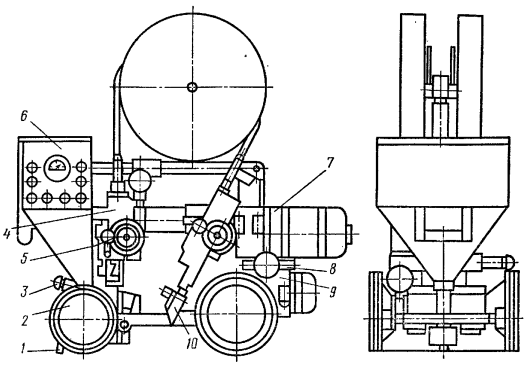


Рис. 18. Трактор ДТС-38:
1 — указатель; *2* — шасси переднее; *3* — рукоятка вертикальной корректировки электрода; *4* — сварочная головка; *5* — направляющий механизм; *6* — бункер для флюса с пультом управления; *7* — подающий механизм; *8* — суппорт; *9* — тележка ходовая; *10* — мундштук

существования дуги весьма мала (тысячные доли секунды), благодаря чему осуществляется электроимпульсный нагрев металла. Наплавка ведется в струе охлаждающей жидкости, выполняющей также функцию защиты наплавляемого металла от окисления и азотирования воздухом или под флюсом.

Универсальная наплавочная головка ОКС-1252-А (ГМВК-2) является новой, улучшенной моделью ранее выпускавшейся головки ГМВК-1

Универсальная наплавочная головка ОКС-1252-А предназначена для вибродуговой (в струе жидкости и под слоем флюса), а также для автоматической наплавки металла под слоем флюса. Головка снабжена сменными мундштуками, с помощью которых может производиться вибродуговая наплавка цилиндрических деталей проволокой диаметром 1,2—2,5 мм, наплавка внутренних поверхностей отверстий, например, в шатунах, а также наплавка лентой шириной 10 мм, толщиной 0,3—1,0 мм Головка устанавливается на суппорте, специально переоборудованном для снижения частоты вращения шпинделя токарного станка. Для наплавки деталь зажимается в патроне токарного станка. Наплавочная головка обеспечивает автоматическую подачу к детали электродной проволоки при непрерывной ее вибрации. Она комплектуется источником питания ПСГ-500.

Головки ВДГ-6 и ВГД-1 для вибродуговой наплавки предназначены для вибродуговой наплавки внутренних поверхностей цилиндрических деталей малого диаметра. Головки ВДГ-6 и ВГД-1 устанавливают на токарном станке.

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ УСТАНОВКИ И СТАНКИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ КОМПЛЕКСНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Установки и станки для сварки и наплавки в зависимости от типа свариваемых швов (продольные, кольцевые, сложной конфигурации) и типа свариваемых изделий (балки, плоские секции, цилиндры, корпусные и коробчатые конструкции) подразделяют на группы: 1) установки и станки для сварки прямолинейных швов; 2) установки и станки для сварки круговых швов и наплавки поверхностей тел вращения; 3) установки и станки для сварки швов сложной формы и наплавки сложных кромок и поверхностей

Установки и станки для сварки прямолинейных швов. Установки для сварки прямолинейных швов плоских листовых конструкций и тел вращения с прямолинейной образующей с прижимом свариваемых кромок к подкладкам и флюсовым подушкам состоят из зажимного устройства (стенда), встроенной или установленной под ними флюсовой подушки или металлической подкладки и сварочного аппарата самоходного типа, перемещающегося по направляющим, закрепленным на стенде (консоли), или сварочного аппарата подвесного типа, закрепленного на выдвижной штанге колонны, устанавливаемой рядом со стендом. На рис. 19 приведены типовые схемы компоновок этих установок. Установка, показанная на рис. 19, *а*, проходного типа, предназначена для сварки листов встык. Листы в зону сварки подаются по рольгангу.

Установки, построенные по схеме, приведенной на рис. 19, *б*, применяют при сварке крупных полотнищ. Листы, подлежащие сварке, подаются по рольгангу. Сварочный аппарат перемещается по направляющим портала, а последний поочередно выставляется под каждым свариваемым швом. Вместе с порталом перемещается флюсовая подушка или металлическая подкладка, смонтированная на тележке портала.

Компоновка, показанная на рис. 19, *в*, предусматривает применение неподвижного магнитного

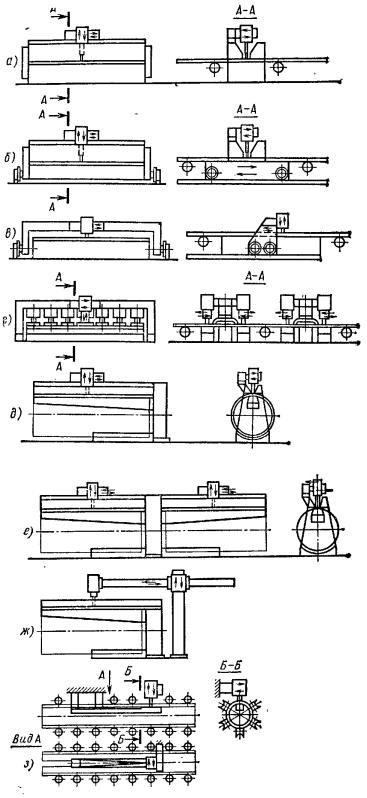


Рис. 19. Типовые схемы компоновок установок и станков для электродуговой сварки прямолинейных стыковых швов с прижимом свариваемых кромок

стенда для сборки изделия (полотница или обечайки), прижима свариваемых кромок и совмещения их друг с другом.

Как уже указывалось, для повышения производительности и эффективности сварки применяется одновременная сварка несколькими головками. При выполнении одного прямолинейного шва используют компоновки сварочных установок с размещением головок по схеме тандем — для сварки одного шва несколькими головками и компоновки с размещением головок по схеме гребенка — для одновременной сварки нескольких параллельных швов. Последняя компоновка представлена на рис. 19, *г*. Установки, скомпонованные по схеме на рис. 19, *д*, предназначены для сварки наружных прямолинейных швов тел вращения. Установки, скомпонованные по схеме на рис. 19, *е*, отличаются от предыдущих тем, что они двухместные. В то время, когда на одном рабочем месте идет сварка, на другом выполняются операции разгрузки-загрузки. Установка, показанная на рис. 19, *ж*, состоит из универсального зажимного стенда и универсальной колонны с выдвижной штангой. На рис. 19, *з* представлена наиболее распространенная схема установок для сварки прямолинейных швов труб. В этой установке изделие во время сварки перемещается, а аппарат неподвижен.

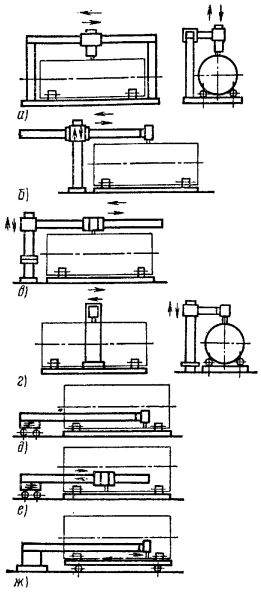


Рис. 20. Типовые схемы компоновок установок для электродуговой сварки прямолинейных стыковых швов цилиндрических изделий без прижима свариваемых кромок

Установки для сварки прямолинейных стыковых швов тел вращения, укладываемых на роликовые опоры без прижима свариваемых кромок, применяют главным образом для сварки продольных швов обечаек, сваренных с одной стороны или собранных на прихватках (если нет опасности протекания расплавленного металла через зазор в стык). При сварке прямолинейных швов сварочным движением является перемещение сварочного аппарата (реже изделия) вдоль оси изделия, а вращение роликов роликовых опор используется как вспомогательное движение.

Основные компоновки перечисленных установок приведены на рис. 20. Компоновка по рис. 20, *а* характерна для специализированных и специальных установок с постоянным или мало изменяющимся по высоте положением шва. Компоновка по рис. 20, *б* пригодна для сварки изделий различного диаметра, а также для сварки внутренних продольных швов. Компоновка по рис. 20, *в* отличается от предыдущих применением консоли и самоходного сварочного аппарата. Установка компоновки по рис. 20, *г* пригодна для сварки изделий любой длины и широкого диапазона диаметров. Установку компоновки по рис. 20, *д* применяют для сварки внутренних швов относительно коротких обечаек. В этом случае предъявляются высокие требования к плавности перемещения тележки со штангой. Чтобы избежать необходимости перемещать длинную штангу внутри свариваемого изделия со скоростью сварки, иногда применяют компоновку по рис. 20, *е*, в которой консоль с направляющими вводится внутрь изделия на маршевой скорости без сварки, а сварка осуществляется самоходным сварочным

аппаратом. При сварке внутренних швов прямошовных труб длиной до 12 м чаще применяют компоновку по рис. 20, *ж*, отличающуюся от предыдущих тем, что движение, необходимое для сварки, осуществляется перемещением трубы вдоль ее оси. Это позволяет исключить колебания штанги и сварочного аппарата, возникающие при сварке длинных швов. В качестве примера такой компоновки на рис. 21 представлена схема стана для сварки внутренних швов труб.

Установки для сварки прямолинейных швов изделий типа балок и рам компонуют по схемам, представленным на рис. 22. Установка компоновки по рис. 22, *а*

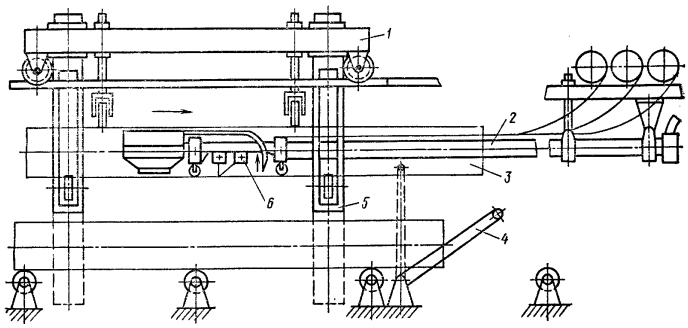


Рис. 21. Схема стана для сварки внутренних швов труб:
1 — приводная тележка; *2* — штанга; *3* — свариваемая труба; *4* — убирающаяся опора штанги; *5* — подъемная рама люльки; *6* — двухдуговой сварочный аппарат

имеет самоходный сварочный аппарат, перемещающийся по стационарным направляющим вдоль линии шва и кантователя. Пример такой компоновки дан на рис. 23.

Компоновка по рис. 22, *б* отличается от предыдущей тем, что для закрепления и перемещения подвесной сварочной головки применяют самоходную колонну, перемещаемую вдоль линии шва со скоростью сварки. Компоновки по рис. 22, *в* удобны для поточного производства.

Установки для сварки прямолинейных швов корпусных и коробчатых конструкций используют для сварки швов различного типа: угловых, нахлесточных, тавровых и стыковых. Так как корпусные и коробчатые конструкции отличаются большим разнообразием форм, то выделение типовых компоновочных схем затруднительно. Характерной чертой этих установок является наличие механизмов и устройств (кантователей, многопозиционных столов, шпинделей и др.), предназначенных для переориентации изделия в несколько последовательных положений для поочередного расположения свариваемых швов параллельно направляющим сварочного движения.

Установки и станки для сварки круговых швов и наплавки поверхностей тел вращения. Установки и станки для сварки поворотных круговых швов и наплавки поверхностей тел вращения изделий, закрепляемых консольно, применяют для изделий с малым отношением длины к диаметру (не более 1—1,5). На рис. 24 приведены типовые схемы компоновок установок и станков этого типа. Установки и станки с фиксированным углом наклона оси вращения изделия (рис. 24, *а—в*) применяют в случаях сварки однотипных изделий и швов. Установки компоновки по рис. 24, *г—е* позволяют производить сварку швов различных видов. В не-

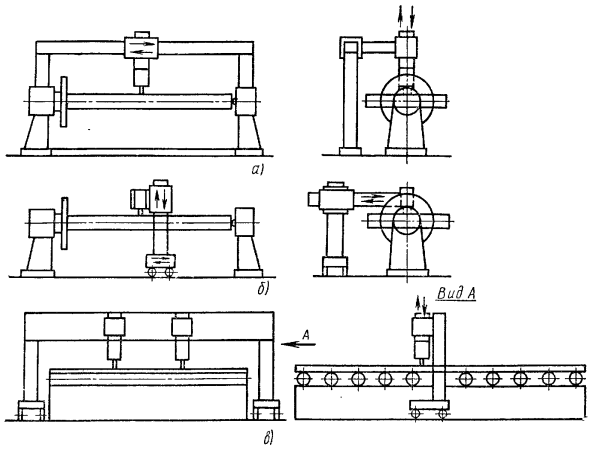


Рис. 22. Типовые схемы компоновок установок для сварки прямолинейных швов изделий типа балок и рам

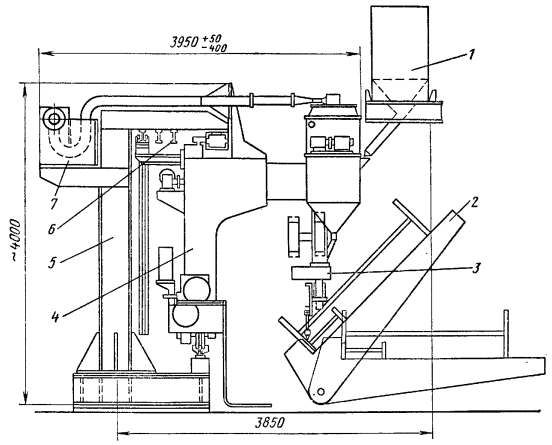


Рис. 23. Схема установки П675:

1 — контейнер для флюса; *2* — кантователь; *3* — сварочный аппарат; *4* — самоходная велосипедная тележка; *5* — металлоконструкция с направляющими для тележки; *6* — контактный провод для подвода сварочного тока; *7* — фильтр системы газопылеудаления

больших установках вращатель (манипулятор) и сварочный аппарат закрепляют на одной колонне (рис. 24, *ж*). Станки компоновки по рис. 24, *з*, *и* применимы для сварки небольших изделий.

На установках и станках для сварки поворотных круговых швов и наплавки изделий, закрепляемых в двух опорах на осевых вращателях, обрабатывают

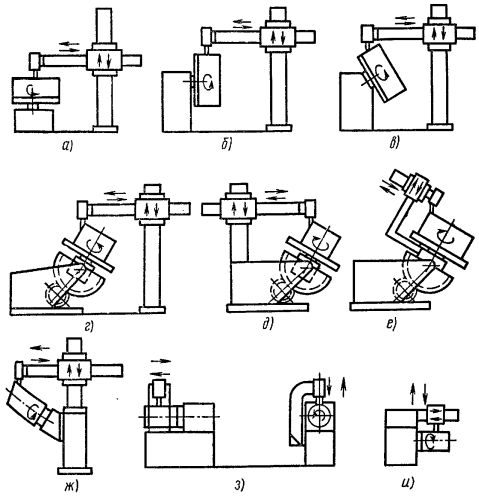


Рис. 24. Типовые схемы компоновки установок и станков для электродуговой сварки круговых швов и наплавки поверхностей тел вращения изделий, закрепляемых консольно

изделия, имеющие большие отношения длины к диаметру (более 1,5—2). Оборудование этого типа применяют для сварки, главным образом, стыковых швов и реже для сварки нахлесточных, тавровых и угловых швов. На рис. 25 приведены типовые схемы компоновок оборудования этого типа. Специализированные и специальные станки и установки компоновок по рис. 25, *а—в* не имеют перемещения сварочной головки вдоль оси станины. У них имеется корректор, обеспечивающий настроечное перемещение мундштука поперек кругового шва.

Установки компоновок по рис. 25, *г* и *д* применяют при длине изделия, не превышающей хода штанги или колонны. Установки компоновок по рис. 25, *е—з* обеспечивают наклон оси изделия: их применяют для улучшения формирования сварного шва при сварке тавровых, угловых и нахлесточных швов. В качестве примера компоновки установок и станков по рис. 25, *а* можно назвать разработанную ИЭС им. Е. О. Патона гамму станков типа У651, У652, У653 и У654, предназначенных для наплавки различных деталей.

Общим отличительным свойством этих станков является высокий уровень внутригрупповой унификации, что позволило создать ряд станков как по типам

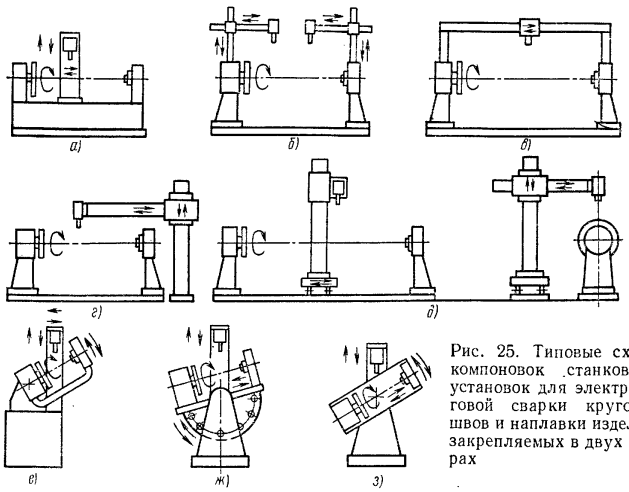


Рис. 25. Типовые схемы компоновок станков и установок для электродуговой сварки круговых швов и наплавки изделий, закрепляемых в двух опорах

наплавляемых (свариваемых) изделий, так и по размерам этих изделий (рис. 26). Техническая характеристика станков приведена в табл. 5.

Установки и станки для сварки поворотных круговых швов и наплавки изделий, укладываемых на роликовые опоры, применяют для сварки главным образом стыковых швов и реже для сварки других типов швов изделий диаметром примерно от 50 мм до 10 м и более при самой различной длине. Компоновки большинства данных установок могут быть сведены к схемам, приведенным на рис. 26, с дополнительным вращением изделия со скоростью сварки.

Многопозиционные установки и станки для сварки круговых швов. Применение многопозиционных установок и станков так же, как и многоголовочной и многодуговой сварки, уменьшает объем вспомогательных работ и значительно повышает производительность труда и оборудования Многопозиционные установки и станки для сварки круговых швов существенно отличаются от однопозиционных. В многопозиционной установке или станке время загрузки в одной позиции совмещается со временем сварки в другой. Многопозиционные установки и станки бывают последовательного, параллельного, последовательно-параллельного действия и роторные. Схемы некоторых компоновок многопозиционных установок и станков приведены на рис. 27. Установка компоновки по рис. 27, *а* имеет одну сварочную позицию, а остальные используются для загрузки и выгрузки деталей.

Установка компоновки по рис. 27, *б* имеет две сварочные (их может быть и больше), одну загрузочную и одну разгрузочную позиции. Она может работать как установка последовательного либо параллельно-последовательного действия.

В установках компоновки по рис. 27, *в* сварочный аппарат располагается поочередно над каждой из позиций. Установка компоновки по рис. 27, *г* отличается от предыдущей тем, что в ней применена передвижная колонна вместо поворотной. Установка компоновки роторного станка-автомата приведена на рис. 27, *д*. Установки компоновок по рис. 27 изображены с вертикальной осью

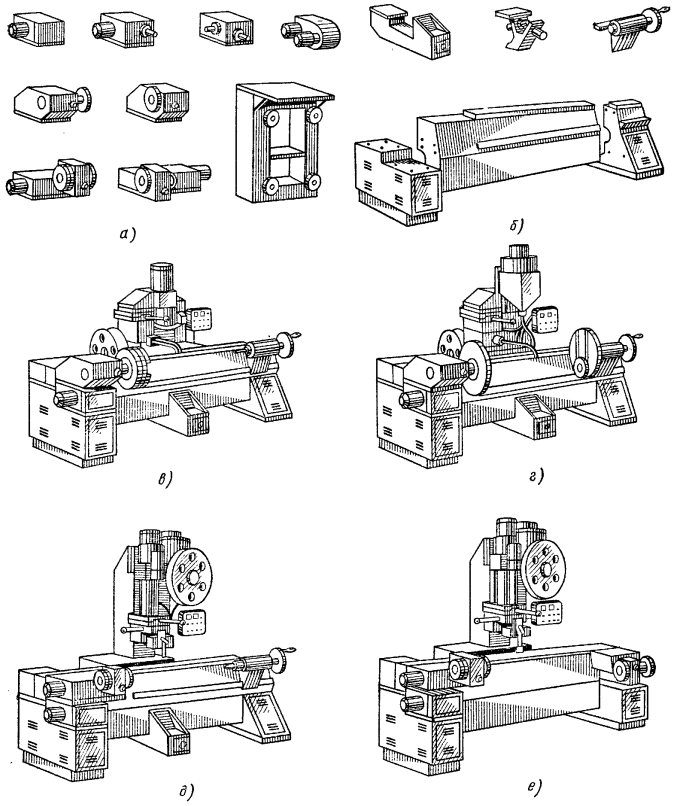


Рис. 26. Унифицированные узлы и компонуемые из них станки:
а — узлы широкого применения; *б* — узлы целевого назначения; *в* — станок У651 для наплавки валов; *г* — станок У652 для наплавки коленчатых валов; *д* — универсальный наплавочный станок У653; *е* — наплавочный универсальный двухпозиционный станок У654

вращения изделия, но при необходимости ось вращения каждого изделия может быть горизонтальной или наклонной.

Установки и станки для сварки неповоротных круговых швов нашли сравнительно небольшое применение. Оборудование этого типа описано в литературе, приведенной в конце главы.

Установки и станки для сварки швов сложной формы и наплавки сложных кромок и поверхностей. Установки и станки для сварки швов сложной формы и

наплавки сложных кромок и поверхностей встречаются значительно реже, чем установки и станки для сварки прямолинейных и круговых швов. Общим для этого вида оборудования является наличие систем автоматического управления траекторией сварочного движения рабочих органов. Наиболее распространено оборудование следующих типов с системами автоматического управления траекторией сварочного движения: сварочные аппараты с механическими копирующими устройствами (прямого действия) для направления электродов по стыку при сварке швов большой длины на стыковых (с разделкой), угловых и тавровых

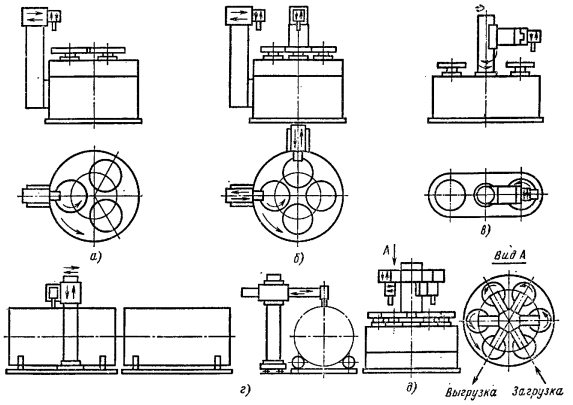


Рис. 27. Типовые схемы компоновок многопозиционных установок и станков для электродуговой сварки круговых швов

соединениях; оборудование со следящими системами (непрямого действия); оборудование с программным управлением (кинематическим или числовым).

Примером станка с числовым программным управлением может служить станок У61, который предназначен для сварки и наплавки изделий как под флюсом, так и в среде CO_2. Система программного управления — импульсно-шаговая. Наибольшие размеры свариваемого или наплавляемого изделия 650 × 650 × × 400 мм.

ПОТОЧНЫЕ И АВТОМАТИЧЕСКИЕ СБОРОЧНО-СВАРОЧНЫЕ ЛИНИИ

В состав поточной линии входит комплекс технологически связанного оборудования, последовательно расположенного на рабочих местах, где с участием операторов производится подготовка деталей к сварке, сборка, сварка и обработка деталей после сварки. В поточных линиях все основные сварочные, сборочные и частично вспомогательные операции механизированы. В качестве примеров можно назвать известные действующие поточные линии: а) для изготовления шахтных вагонеток; б) по производству двутавровых широкополых балок; в) по производству тонкостенных труб большого диаметра и др.

Автоматическая линия характеризуется полной механизацией и автоматизацией всех технологических, вспомогательных и транспортных операций. Функции оператора в данном случае сводятся к наладке элементов линии, а иногда к загрузке заготовок и к выгрузке готовых деталей. В качестве примеров можно назвать действующие автоматические линии для сварки автомобильных колес, сварки задних мостов и др. Для эффективного использования преимуществ поточных и автоматических линий оборудование, входящее в эти линии, должно иметь повышенную надежность и работоспособность. В состав рассмотренных выше установок, станков и линий входит разнообразное электросварочное оборудование, механическое оборудование, флюсовая аппаратура, вспомогательное оборудование и др. Сведения о данном оборудовании имеются в литературе, приведенной в конце главы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Алексеев Е. К., Мельник В. И.** Сварочное дело в строительстве. М., Госиздат по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1962. 352 с.
2. **Бельфор М. Г., Патон В. Е.** Оборудование для дуговой и шлаковой сварки и наплавки. М., Высшая школа, 1974. 256 с.
3. **Вибродуговые** головки для наплавки внутренних поверхностей цилиндрических деталей малого диаметра./А. К. Маришкин и др. — Автоматическая сварка, 1976, № 8, с. 70—71.
4. **Гитлевич А. Д., Этингоф Л. А.** Механизация и автоматизация сварочного производства. М., Машиностроение, 1972. 280 с.
5. **Инструмент** и устройства для ручной электродуговой сварки. (Обзор). М., Минмонтажспецстрой СССР. ЦБНТИ, 1975, 57 с.
6. **Механическое** сварочное оборудование. Каталог-справочник. М., НИИмаш, 1975. 77 с.
7. **Механическое** сварочное оборудование./А. И. Олейник и др. Обзор. М., НИИмаш, 1974. 92 с.
8. **Мотяхов М. А.** Электродуговая сварка металлов. М., Высшая школа, 1975. 232 с.
9. **Патон Б. Е., Лебедев В. К.** Электрооборудование для дуговой и шлаковой сварки. М., Машиностроение, 1966. 360 с.
10. **Ройтенберг С. Ш.** Оборудование для сварки на монтаже тепловых электростанций. М., Энергия, 1975. 120 с.
11. **Сварочное** оборудование. Каталог-справочник. Отв. ред. А. И. Чвертко. Киев, Наукова думка, 1968, ч. 1. 388 с.
12. **Сварочное** оборудование. Каталог-справочник. Отв. ред. А. И. Чвертко. Киев, Наукова думка, 1972, ч. 3. 196 с.
13. **Севбо П. И.** Комплексная механизация и автоматизация сварочного производства. Киев, Техніка, 1974, 416 с.
14. **Технология** электрической сварки металлов и сплавов плавлением/Под ред. акад. Патона Б. Е. М., Машиностроение, 1974. 768 с.
15. **Фоминых В. П., Яковлев А. П.** Электросварка. М., Высшая школа, 1976. 288 с.
16. **Хренов К. К.** Сварка, резка и пайка металлов. М., Машиностроение, 1973. 408 с.
17. **Чвертко А. И.** Флюсовая аппаратура для автоматической и полуавтоматической сварки. М., Машгиз, 1963. 208 с.
18. **Чвертко А. И.** Устройства для подачи и уборки флюса при автоматической и полуавтоматической сварке. М., ВНИИЭМ, 1964. 68 с.
19. **Чвертко А. И., Тимченко В. А.** Установки и станки для электродуговой сварки и наплавки. Киев, Техніка, 1974. 240 с.
20. **Чвертко А. И.** Современные тенденции проектирования оборудования для механизированных способов сварки. Киев, Наукова думка, 1976. 71 с.

Глава 5
ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ

КЛАССИФИКАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

Различают оборудование для полуавтоматической и автоматической электрошлаковой сварки. По способу перемещения аппараты для электрошлаковой сварки разделяют на самоходные (рельсовые и безрельсовые) и подвесные.

По виду электрода различают (ГОСТ 19521—74) аппараты для сварки: проволочным электродом, пластинчатым электродом; плавящимся мундштуком. Аппараты для сварки проволочными электродами характерны тем, что в качестве электродов используется одна или несколько проволок.

В аппаратах для сварки плавящимся мундштуком расплавляемые электродные пластины одновременно играют роль мундштуков. Пластины имеют направляющие трубки, по которым в шлаковую ванну подаются электродные проволоки. В процессе сварки пластины остаются неподвижными, а недостаток металла для заполнения зазора компенсируется подачей проволок.

Аппараты для сварки пластинчатыми электродами характерны тем, что в качестве электродов используются пластины большого сечения, соизмеримого с размерами зазора. Обычно для равномерной загрузки трех фаз переменного тока применяют сварку тремя пластинчатыми электродами. Аппараты для сварки пластинчатыми электродами не имеют механизма перемещения и осуществляют только подачу в зону сварки пластин по мере их расплавления. В связи с этим такие аппараты конструктивно имеют вид станков.

АППАРАТЫ ДЛЯ ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ

Полуавтомат А671Р предназначен для электрошлаковой сварки на постоянном токе в условиях монтажа и в труднодоступных местах стыковых соединений металла толщиной от 16 до 50 мм, расположенных вертикально или под углом 45°. Сварочная головка движется по кромкам свариваемого изделия на двух связанных тягой тележках, которые прижаты к свариваемым кромкам мощной пружиной. Привод для осуществления сварочного движения — ручной с храповым механизмом. При сварке деталей, кромки которых имеют наплывы после газовой резки или собраны со значительными зазорами, использовать безрельсовые полуавтоматы А671Р затруднительно. Техническая характеристика полуавтоматов приведена в табл. 1.

АППАРАТЫ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ

Автомат А820МК предназначен для автоматической электрошлаковой сварки вертикальных швов металла. Аппарат может выполнять также полуавтоматическую электрошлаковую сварку, если вместо привода вертикального перемещения с помощью электродвигателя установить рычажно-храповой механизм перемещения. Аппарат А820МК может также выполнять электродуговую сварку под флюсом с принудительным формированием металла толщиной 14—20 мм. В полуавтомате А820МК рельсом служит уголок из проката, который крепится к изделию короткими односторонними швами (прихватками). Вследствие некоторой

1. Техническая характеристика наиболее распространенных аппаратов для электрошлаковой сварки

Аппарат	Наибольшая толщина свариваемого металла, мм	$I_{св}$ при ПВ = 100% А	Диаметр проволоки, мм	$v_{пр}$, м/ч	$v_{св}$, м/ч	Источник питания	Габаритные размеры (длина × ширина × высота), мм	Масса, кг
Аппараты для полуавтоматической сварки проволочным электродом								
А671Р, безрельсовый	16—50	300—700	2,5—3,0	250—400	—	ВДУ-1001	350×200×300	18,6
Аппараты для автоматической сварки								
Проволочным электродом								
А820МК *1, рельсовый	70	700	2,5—3,0	58—580	4,0—15,0	ВДУ-1001	350×250×650	20
А433Р, рельсовый	150	1000	3,0	60—420	2,6—17,5	ВДУ-1001	392×440×800	75
А535, рельсовый	450—800	3×1000	3,0	60—450 (проволока)	0,4—9,0	ТШС-1000-3	1600×820×1070	380
			85—200 *2	0,4—9,0 (пластины)				
А1170, рельсовый	До 300	2×1000 или 1×1500	3,0—5,0	14—140	0,4—2,1	ТШС-1000-3	780×510×820	350
А612, безрельсовый	20—100	1000	3,0	129—444	0,4—4,0	ТШС-1000-1	750×370×870	70
А501М, безрельсовый	До 90	750	2,5	100—300	1,0—9,0	ВДУ-1001	220×280×420	25
Плавящимся мундштуком								
А645	200—600	2000—8000	3,0	62—154	—	ТШС-3000-1	370×400×360	35
А1304	До 400 (сталь)	3000 (сталь)		14—306	—	ТРМК-3000-1	400×542×790	55
	До 140 (алюминий)	9000 (алюминий)	3,0—6,0					
Пластинчатым электродом								
А550У	До 200	3000 (сталь)	До 200 *2	0,8—10,0	—	ТШС-3000-1	1200×575×	До
		10 000 (алюминий)		(2,5—30,0)			× до 3800	440

*1 Аппарат А820МК может быть налажен для полуавтоматической электрошлаковой сварки.
*2 Указана ширина пластины; для сварки пластинчатым электродом необходима переналадка аппарата.

гибкости уголка возможна сварка как прямых, так и криволинейных швов, но с большим радиусом кривизны. Сварка ведется на постоянном токе обратной полярности. Техническая характеристика автомата А820МК приведена в табл. 1.

Автомат А433Р предназначен для вертикальной однопроходной сварки стыковых соединений металла. Автомат передвигается по легкому рельсовому пути с зубчатой рейкой. Рельс может быть жестким (для сварки прямолинейных швов) или гибким (для сварки криволинейных швов). Техническая характеристика автомата приведена в табл. 1.

Автомат А535 предназначен для сварки прямолинейных и кольцевых швов стыковых, угловых и тавровых соединений. Сварка ведется электродными проволоками или пластинами. Электродные проволоки применяют для сварки металла толщиной до 450 мм без ограничения длины шва, пластины — для сварки прямолинейных швов длиной не более 1,5 м. Сварка осуществляется одним, двумя или тремя электродами или одной, двумя или тремя пластинами. Толщина металла, свариваемого пластинами, до 800 мм. Автомат А535 во время сварки движется по рельсовой колонне, которая может крепиться непосредственно к изделию или к специальной несущей конструкции. Для сварки кольцевых швов прямые ползуны заменяются кольцевыми. При сварке пластинчатыми электродами сварочная головка заменяется специальной штангой с держателями для крепления к ним пластин.

Автомат А1170 новый, унифицированный. Техническая характеристика автомата А1170 приведена в табл. 1.

Автомат А612 предназначен для однопроходной сварки продольных стыковых швов металла. Автомат при сварке перемещается непосредственно по изделию, копируя одну из свариваемых кромок (левую). Сварка производится одним электродом. Техническая характеристика автомата А612 приведена в табл. 1.

Автомат А501М безрельсовый магнитошагающий; предназначен для сварки угловых, тавровых и стыковых швов металла. При сварке угловых швов поверхность одной из свариваемых кромок копируется магнитами, а другая — ползуном и копирующим роликом. При сварке стыковых швов параллельно одной из кромок устанавливается копирная линейка. Техническая характеристика автомата приведена в табл. 1.

Автоматы А645 и А1304 предназначены для сварки плавящимся мундштуком изделий из стали или алюминия прямого или сложного профиля (в частности, с поверхностями переменной кривизны), изделий с труднодоступными швами и неровной поверхностью (отливки), а также для выполнения ремонтных работ. Техническая характеристика автоматов приведена в табл. 1.

Автомат А550У предназначен для сварки пластинчатым электродом изделий из низкоуглеродистых, легированных и коррозионно-стойких сталей, а также из титана и его сплавов. Техническая характеристика автомата приведена в табл. 1

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ УСТАНОВКИ И СТАНКИ

Компоновка и конструкция установок для электрошлаковой сварки и наплавки определяются следующими условиями: а) изделия для сварки продольных швов должны устанавливаться в вертикальное положение, и поэтому во многих случаях сварку необходимо выполнять на большой высоте; б) способом выполнения сварки (проволоками, пластинами и др.); в) способами удержания сварочной ванны в зазоре между кромками. Необходимо также учитывать, что сварка может производиться как в заводских, так и в монтажных условиях.

Установки для электрошлаковой сварки проволочными электродами предназначены в основном для сварки вертикальных швов большой длины. Поэтому в таких установках кроме устройств для укладки и кантовки изделия предусматриваются подъемные площадки для сварщика и средства, определяющие положение сварочного автомата относительно шва.

В качестве примера на рис. 1 показана установка У315 для электрошлаковой сварки в заводских условиях вертикальных швов обечаек. Установка состоит из

стенда для изделия и двух тележек со сварочными аппаратами. На тележке установлена колонна, по которой перемещается кабина со сварщиком. Сварочный автомат А535 перемещается по своей колонне, закрепленной по концам на тележке. Колонна аппарата имеет корректировочные механизмы для выставления мундштуков аппарата по стыку. Предусмотрена сварка одновременно двух швов.

Пример компоновки установки для электрошлаковой сварки в заводских условиях с тем же автоматом А535, но для кольцевых швов, показан на рис. 2.

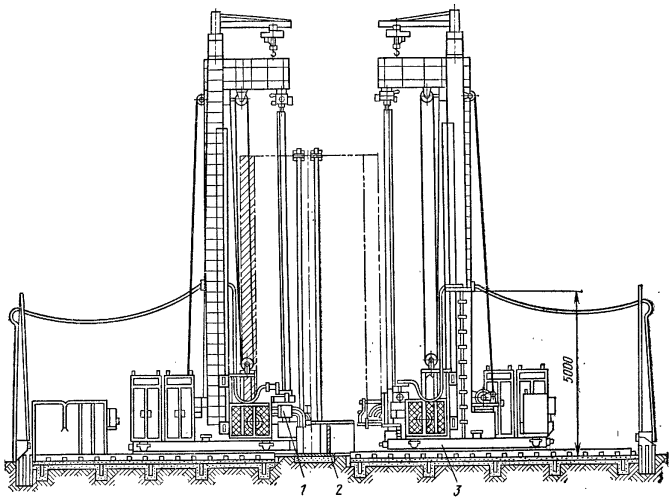


Рис. 1. Установка У315:
1 — сварочный аппарат; *2* — стенд; *3* — самоходная тележка

При сварке кольцевых швов вращение изделия осуществляется с помощью роликового стенда или торцовым вращателем. Однако изделия большой массы чаще всего укладывают на мощные роликовые опоры или люнеты. Преимущества торцового вращателя в том, что он удерживает изделие от осевых перемещений, неизбежных в обычных роликовых стендах, и в том, что он исключает пробуксовку тяжелого изделия на роликах. Тележка, на которой устанавливается автомат, служит для перемещения его от шва к шву. При электрошлаковой сварке кольцевого шва для замыкания шва автомат должен передвигаться в вертикальной плоскости. В автоматах рельсового типа эта операция выполняется их собственными механизмами; в подвесных — элементами установки.

Установки для сварки вертикальных и кольцевых швов в монтажных условиях значительно проще. Например, установка для сварки вертикальных швов в монтажных условиях, как правило, содержит безрельсовый или легкий рельсовый автомат. Рельс крепится непосредственно к свариваемому изделию. Для обслуживания автомата на высоте применяют типовую подъемную площадку, подвесную люльку или строительные леса. Установки для электрошлаковой сварки в монтажных условиях часто снабжают автономной замкнутой системой водяного

охлаждения, состоящей из бака с охлаждающей жидкостью, насоса и радиатора. Все это необходимо, когда на строительной площадке нет водопровода или когда сварку следует вести при пониженных температурах. В последнем случае для охлаждения формирующих устройств необходимо применять антифриз или 20%-ный раствор поваренной соли.

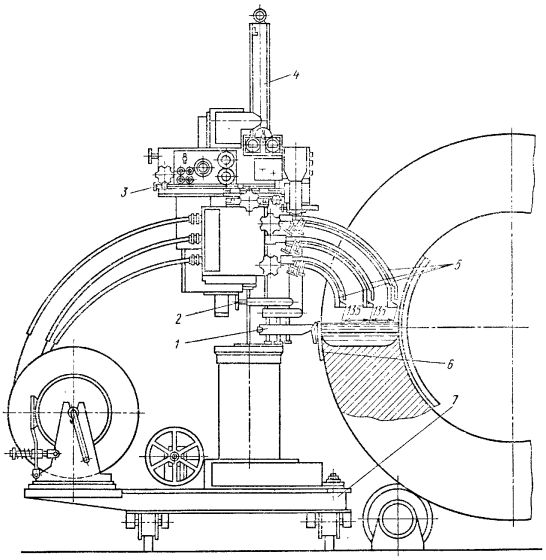


Рис. 2. Установка для электрошлаковой сварки кольцевых швов с автоматом А535:

1 — подвеска ползуна; *2* — корректор ползуна; *3* — корректор с плавающим винтом; *4* — рельс; *5* — мундштуки; *6* — передний ползун; *7* — тележка для установки автомата

Установки для электрошлаковой сварки плавящимся мундштуком предназначены главным образом для сварки крупногабаритных деталей из металла толщиной до 2 м при сравнительно небольшой длине шва и состоят из портала или консоли, на которых размещены механизмы подачи проволок и катушки. Для подачи проволок применяют автоматы А645, А1304 и др.

Установки для электрошлаковой наплавки предназначены для наплавки плоских, цилиндрических и конических поверхностей; конструктивно подобны рассмотренным выше. Особенностью этого оборудования является необходимость установки на наплавляемую деталь медной керамической, графитовой или другой формы-кокиля с зазором между формой-кокилем и деталью, равным необходимой толщине наплавляемого слоя. Электродная проволока направляется в плавильное пространство с помощью автоматов А433Р, А535 и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бельфор М. Г., Патон В. Е.** Оборудование для дуговой и шлаковой сварки и наплавки. М., Высшая школа, 1974. 256 с.
2. **Патон Б. Е., Лебедев В. К.** Электрооборудование для дуговой и шлаковой сварки. М., Машиностроение, 1966. 359 с.
3. **Сварочное оборудование.** Каталог-справочник. Отв. ред. А. И. Чвертко. Киев, Наукова думка, 1968, ч. 2. 388 с.
4. **Сварочное оборудование.** Каталог-справочник. Отв. ред. А. И. Чвертко. Киев, Наукова думка, 1972, ч. 3. 196 с.
5. **Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением/Под ред. акад.** Б. Е. Патона. М., Машиностроение, 1974. 768 с.
6. **Хренов К. К.** Сварка, резка и пайка металлов. М., Машиностроение, 1973. 408 с.
7. **Электрошлаковая сварка/Под. ред. акад.** Б. Е. Патона. М.—К., Машгиз, 1959. 410 с.

Глава 6

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Машины общего назначения для точечной, рельефной, шовной и стыковой электрической контактной сварки изготовляют по техническим требованиям, изложенным в ГОСТ 297—73, в котором предусмотрены параметрические ряды машин по длительным сварочным токам, номинальным усилиям сжатия и осадки, а также установлены номинальные вылеты электродов (для стационарных машин с консольным расположением электродов).

Кроме того, ГОСТ 297—73 определены и другие параметры и характеристики машин для контактной сварки (диапазоны регулирования усилий сжатия и осадки, диапазон регулирования вторичного тока, отклонения фактических значений сварочного тока и усилий сжатия электродов от номинальных и т. д.).

Для машин контактной сварки принята система обозначений, позволяющая определить тип оборудования, величину главного параметра и некоторые другие данные.

Оборудование любого типа обозначено буквами (две или три буквы) и цифрами (четыре цифры). Первая буква характеризует изделие: установка У, автомат А, полуавтомат П, машина М и т. д. Вторая буква указывает вид сварки: точечная Т, рельефная Р, шовная Ш, стыковая С. Если в буквенное обозначение входит третья буква, то она указывает либо число одновременно свариваемых точек — многоэлектродная М, либо характеристику сварочного тока — с выпрямлением во вторичном контуре В, конденсаторная К и т. д.

Первые две цифры числовой части обозначения говорят о величине главного параметра — сварочного тока в кА для точечных, рельефных, шовных и стыковых машин для сварки методом сопротивления; усилие осадки в 1000 кгс для машин стыковой сварки методом оплавления. Вторые две цифры цифровой части обозначения указывают номер конструктивного исполнения данного типа машины. Так, машина для точечной сварки с номинальным сварочным током 12,5 кА обозначается МТ-1217, машина для шовной сварки с номинальным сварочным током 32 кА — МШ-3204 и т. д.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СХЕМЫ ОСНОВНЫХ ТИПОВ МАШИН. КЛАССИФИКАЦИЯ

Оборудование для точечной и рельефной сварки предназначено для выполнения следующих основных функций: а) сжатия свариваемых деталей между электродами с усилием, необходимым для сварки; б) подвода сварочного тока к свариваемым деталям; в) управления операциями сварочного цикла.

В зависимости от назначения оборудование может содержать и некоторые другие функциональные узлы: для подачи свариваемых деталей под электроды, съема сваренных деталей, перемещения свариваемой детали в определенных направлениях и на определенную величину, контроля качества сварного соединения и т. д.

Оборудование для шовной контактной сварки кроме указанных основных узлов обязательно имеет устройства для непрерывного или шагового перемещения свариваемой детали в процессе сварки и устройства для подвода сварочного тока

к вращающимся электродам-роликам. Обычно это перемещение обеспечивается принудительным вращением одного или обоих роликовых электродов от специального приводного электродвигателя. Однако в некоторых случаях в процессе сварки перемещают свариваемую деталь; тогда оба роликовых электрода — неприводные.

Оборудование для стыковой сварки предназначено для выполнения следующих основных функций: а) зажатия свариваемых деталей; б) создания усилия осадки; в) подвода сварочного тока к свариваемым деталям; г) управления операциями сварочного цикла

В зависимости от назначения, оборудование может быть снабжено дополнительными устройствами: для снятия грата, съема сваренных деталей, термической обработки стыка непосредственно в зажимных губках — и некоторыми другими устройствами.

Для обеспечения потребностей народного хозяйства выпускается широкая номенклатура оборудования для контактной сварки, которое может быть разбито на группы и классифицировано:

А. По виду сварки — для сварки: 1) точечной; 2) рельефной; 3) шовной; 4) стыковой.

Б. По характеру установки: 1) стационарное; 2) передвижное.

В. По типу привода: 1) с рычажным; 2) с пружинным; 3) с электромеханическим; 4) с пневматическим. Кроме того, применяют и комбинированные приводы, например, в стыковых машинах: электромеханический для оплавления, пневматический и пневмогидравлический для осадки и т. д.

Г. По виду питания: 1) однофазное переменного тока; 2) трехфазное с выпрямлением во вторичном контуре; 3) трехфазное низкочастотное; 4) с запасением энергии (в магнитном поле, конденсаторные).

Д. По роду управления сварочным процессом: 1) автоматическое; 2) неавтоматическое.

Е. По назначению: 1) универсальное (общего назначения); 2) специализированное.

Классификация точечных, рельефных, шовных и стыковых машин может быть продолжена внутри каждого вида по их отличительным признакам.

Машины для точечной сварки подразделяют:

А. По способу токоподвода к изделию: 1) с односторонним токоподводом; 2) с двусторонним токоподводом.

Б. По числу одновременно свариваемых точек: 1) одноточечные; 2) многоточечные (многоэлектродные).

В. По траектории движения электрода: 1) с движением по дуге окружности — радиальные; 2) с прямолинейным движением — прессовые.

Машины для шовной сварки подразделяют:

А. По расположению сварного шва по отношению к корпусу машины: 1) машины для продольной сварки; 2) машины для поперечной сварки; 3) универсальные (переналаживаемые); 4) для сварки кольцевых швов.

Б. По виду сварки: 1) для непрерывной сварки; 2) для прерывистой сварки.

В. По характеру движения свариваемых деталей в процессе сварки: 1) с непрерывным движением; 2) с прерывистым движением.

Г. По способу токоподвода к изделию: 1) с односторонним токоподводом; 2) с двусторонним токоподводом.

Д. По виду подвода вращения роликов: 1) с принудительным вращением одного ролика; 2) с принудительным вращением двух роликов; 3) со свободным вращением роликов и приводом на свариваемые детали.

Машины для стыковой сварки подразделяют:

А. По видам сварки: 1) для стыковой сварки сопротивлением; 2) для стыковой сварки оплавлением.

Б. По конструкциям станин: 1) с горизонтальным столом; 2) с вертикальным столом; 3) с наклонным столом.

В. По назначению: 1) для сварки деталей с компактными сечениями; 2) для сварки деталей с развитыми сечениями (листосварочные, лентосварочные); 3) для сварки колец.

Г. По способу подвода тока: 1) с односторонним токоподводом; 2) с двусторонним токоподводом.

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОБОРУДОВАНИЮ

Оборудование для контактной сварки рассчитано на питание от сети переменного тока частотой 50 Гц с напряжением 380 В. По специальному заказу предусматривается изготовление оборудования на номинальное напряжение сети 660 В, а для оборудования с потребляемой мощностью до 50 кВА — на напряжение 220 В.

На экспорт оборудование выпускается на другие напряжения для сетей частотой 50 и 60 Гц. Максимальное вторичное напряжение холостого хода у сварочных машин не должно превышать 36 В; отношение вторичного максимального тока к минимальному должно быть не менее 1,8. Вторичный ток можно регулировать: ступенчато — изменением вторичного напряжения сварочного трансформатора и плавно — фазовым регулированием или с помощью того и другого способа (смешанное регулирование).

Напряжение холостого хода можно регулировать с помощью промежуточного трансформатора, а для конденсаторных машин — изменением напряжения заряда батареи конденсаторов. При ступенчатом и смешанном регулировании (кроме машин для сварки запасаемой энергии и подвесных машин со встроенным трансформатором) изменение коэффициента трансформации при переходе со ступени на ступень не должно превышать 30%. При смешанном регулировании допускается уменьшение отношения максимального напряжения к минимальному до 1,4.

Схема обмотки сварочного трансформатора должна быть выполнена такой, чтобы на любой ступени регулирования напряжение между двумя любыми выводами первичной обмотки было не более 150% максимального первичного напряжения.

Переключатель ступеней машин со ступенчатым регулированием и длительным первичным током не более 500 А должен обеспечить возможность переключения ступеней под напряжением, но без прохождения тока.

Машины должны быть снабжены отключающими устройствами, рассчитанными на максимальную мощность, соответствующую короткому замыканию электродов при номинальном напряжении питающей сети, максимальном вторичном напряжении сварочного трансформатора и минимальных размерах сварочного контура.

Машины рассчитывают на нормальную работу при колебаниях напряжения питающей сети в пределах от —10 до +5% от номинального значения. Если в машинах предусмотрена установка аппаратуры для компенсации колебаний напряжения питающей сети, то сварочный ток не должен изменяться при этом более чем на ±5%.

ГОСТ 297—73 устанавливает, что допустимые отклонения фактического сварочного тока при номинальных условиях работы машины (кроме стыковых машин для сварки оплавлением) не должны превышать ±5% от номинальных значений, указанных в технических условиях на эту машину.

У машин для стыковой сварки оплавлением отклонение фактического сварочного тока должно отличаться от номинального не более чем на ±10%. Отклонение фактического усилия сжатия или осадки при номинальных условиях не должно отличаться от номинальной величины более чем на ±8%.

В машинах с пневматическим или гидравлическим приводом усилие сжатия или осадки должно регулироваться в пределах не менее чем 1 : 4. При этом номинальное усилие в машине с пневматическим приводом должно обеспечиваться при давлении сжатого воздуха не более чем 80% от номинального давления сжатого воздуха питающей сети, а все детали и узлы пневматического привода должны быть рассчитаны на работу при изменении давления сжатого воздуха питающей сети от 100 до 60% от номинального.

В машинах для контактной сварки предусматривается водяное охлаждение электродов, токоподводов, электрододержателей, вторичного витка сварочного трансформатора и других частей вторичного контура.

Система охлаждения должна быть рассчитана для работы при давлении воды от 1,5 до 3,0 кгс/см^2. Сливные устройства системы охлаждения должны обеспечивать возможность наблюдения за протеканием воды или обеспечивать подачу сигнала или отключение машины при прекращении подачи воды. Машины для точечной, рельефной и шовной сварки должны изготовляться (при консольном расположении электродов) с вылетом от 50 до 2000 мм. Раствор у машин с консольным расположением электродов должен быть не менее 25 мм плюс 0,15 длины вылета — для вылетов до 500 мм и 40 мм плюс 0,08 длины вылета — для вылетов более 600 мм.

Для получения качественного сварного соединения станины и другие узлы машин контактной сварки должны обладать определенной жесткостью, поэтому ограничивается предельное вертикальное смещение электродов точечных и шовных машин под воздействием номинального усилия. При безударной нагрузке эти смещения должны быть не более указанных в табл. 1.

1. Предельные значения вертикального смещения электродов, мм

Номинальный вылет, мм	Машины	
	точечные прессового типа	точечные радиального типа и шовные
До 500	1,2	1,5
От 600 до 1200	1,6	2,0
Св. 1200	2,5	2,5

У рельефной машины смещение нижнего кронштейна по линии, проходящей через центры плит, должно быть не более 0,5 мм. Взаимное смещение электродов точечных и шовных машин в горизонтальной плоскости при номинальном усилии сжатия и безударной нагрузке должно быть не более 20% от номинальной толщины одной из свариваемых деталей. У стыковых машин жесткость станины должна быть достаточной для того, чтобы тангенс угла между продольными осями деталей номинального сечения, сваренных при номинальном усилии осадки, не превышал 0,012.

В машинах для шовной сварки привод вращения роликов должен обеспечить регулирование линейной скорости: для машин прессового типа не менее 1 : 5; для машин радиального типа не менее 1 : 3,5. При ступенчатом регулировании изменение скорости при переходе от ступени к ступени не должно превышать 25%. Привод вращения должен обеспечить равномерное вращение роликовых электродов. Отклонение скорости должно быть не более ±10%.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАШИН

Машины для контактной сварки с питанием от однофазной сети переменного тока потребляют при сварке из сети энергию мощностью $S_1 = U_1 I_1$, где U_1 — напряжение питающей сети; I_1 — ток, потребляемый машиной. При этом только часть потребляемой мощности расходуется на образование сварного соединения. Эта мощность называется полезной и развивается на участке электрической цепи

между электродами. Полезная мощность $P_{св} = I_2^2 R_{э.э}$, где I_2 — сварочный ток, $R_{э.э}$ — сопротивление на участке электрод—электрод.

Полезная мощность всегда меньше потребляемой, так как часть потребляемой мощности теряется в сварочном трансформаторе, токоподводах, соединяющих электроды с выводными колодками сварочного трансформатора, и т. д.

Общее сопротивление при сварке с учетом схемы замещения

$$Z_{св} = \sqrt{(R_{э.э} + R_1' + R_2)^2 + (X_1'' - X_2)^2},$$

где R_1' и X_1'' — соответственно активное и индуктивное сопротивления первичной обмотки сварочного трансформатора, приведенные ко вторичной обмотке; R_2 и X_2 — соответственно активное и индуктивное сопротивление сварочного контура.

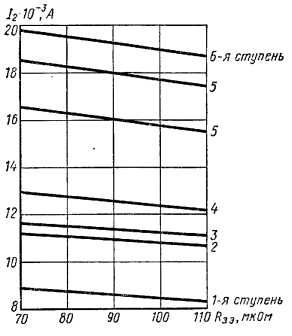
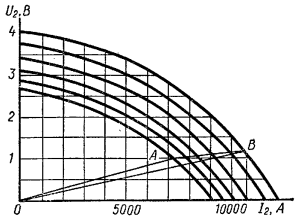


Рис. 1. Нагрузочная характеристика машины МТ-1618 для вылета электродов 220 мм

Рис. 2. Внешняя характеристика машины МТ-1217



Мощность, потребляемая машиной из сети,

$$S_1 = U_1 I_1 = k I_2^2 Z_{св},$$

где k — коэффициент, зависящий от размеров вторичного контура (вылета электродов и раствора), типа трансформатора и его тока холостого хода.

Очевидно, что при сварке одних и тех же деталей на машинах различных конструкций из сети будет потребляться различная мощность.

Сварка деталей на данной машине возможна при следующем условии: $U_{2xx} \geqslant I_2 Z_{св}$.

О пригодности конкретной машины для сварки того или иного материала можно судить по нагрузочной $I_2 = f(R_{э.э})$ или внешней $U_2 = f(I_2)$ характеристикам, которые приведены в технических описаниях или паспортах машины.

На рис. 1 приведена нагрузочная характеристика машины МТ-1618 для точечной контактной сварки. Зная сопротивление свариваемых деталей, можно найти сварочный ток при различных коэффициентах трансформации.

На рис. 2 приведена внешняя характеристика машины МТ-1217. На рисунке приведены линии сопротивлений деталей минимальных OA и номинальных OB свариваемых толщин при максимальном нагреве.

ТРАНСФОРМАТОРЫ

В машинах для контактной сварки применяют понижающие трансформаторы, рассчитанные на работу в повторно-кратковременном режиме при низких вторичных напряжениях и больших токах (от 5 до 100 кА). Обычно вторичная обмотка

состоит из одного или реже двух витков. Для уменьшения габаритов и массы трансформаторов вторичная обмотка охлаждается водой. Для снижения индуктивности первичную и вторичную обмотки располагают на одном стержне. Большие вторичные и соответствующие им первичные токи, а также работа в повторно-кратковременном режиме вызывают значительные электродинамические нагрузки, для восприятия которых предусмотрена повышенная жесткость и прочность конструкции.

Сварочный трансформатор машин для контактной сварки состоит из магнитопровода (сердечника), первичной обмотки, вторичного витка и устройства, фиксирующего обмотки относительно магнитопровода. Магнитопроводы применяют двух типов: стержневые и броневые. Иногда применяют кольцевые магнитопроводы, которые являются разновидностью стержневых магнитопроводов. Наиболь-

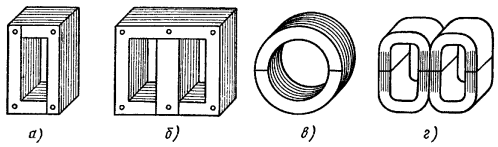


Рис. 3. Магнитопроводы сварочных трансформаторов:
а — шихтованный Г-образный; *б* — шихтованный Ш-образный; *в* — шихтованный кольцевой; *г* — витой Ш-образный

шее распространение получили броневые магнитопроводы, обеспечивающие некоторую экономию стали, уменьшение потоков рассеяния и, главное, обеспечивающие более надежное закрепление обмоток относительно магнитопровода.

Магнитопроводы трансформаторов собирают из пластин электротехнической стали толщиной 0,5 мм, имеющих прямоугольную П-образную или Ш-образную форму (рис. 3, *а*—*в*).

Все большее распространение начинают получать витые магнитопроводы из ленточной холоднокатаной электротехнической стали (рис. 3, *г*), обеспечивающие возможность создания компактных трансформаторов в результате повышения индукции. Трансформаторы с такими сердечниками имеют высокие экономические и эксплуатационные показатели.

Пакеты магнитопроводов, набранных из отдельных пластин, стягиваются между двумя сварными или литыми рамками с помощью изолированных шпилек. Рамы предназначены для установки и закрепления трансформаторов на станинах сварочных машин.

Первичные обмотки трансформаторов бывают двух типов: цилиндрические и дисковые — и изготовляются из обмоточного медного провода круглого или прямоугольного сечения.

Цилиндрические обмотки (рис. 4, *а*) используют в трансформаторах малой мощности с низким вторичным напряжением (большим числом витков); они состоят из одной или нескольких многослойных катушек. В каждом слое расположены несколько витков. Если обмотки трансформатора имеют воздушное охлаждение, то в катушках предусматривают каналы охлаждения.

Наибольшее распространение получили дисковые катушки (рис. 4, *б*), так как они обладают по сравнению с цилиндрическими рядом преимуществ: меньшей индуктивностью, простотой выполнения отводов, лучшими условиями для теплоотвода к охлаждаемым водой вторичным виткам, лучшим использованием обмоточного провода и т. п.

Изготовляют дисковые катушки из провода прямоугольного сечения с изоляцией между витками. Вторичные обмотки в трансформаторах с дисковыми обмот-

ками состоят из одного или нескольких параллельно соединенных дисков, изготовленных из листовой меди. К концам дисков припаивают медные колодки, а по периметру — трубки для водяного охлаждения. В некоторых случаях применяют литые вторичные витки из меди или алюминиевых сплавов, с залитыми внутри трубками охлаждения. Первичную и вторичную обмотки изолируют друг от друга и от магнитопровода прокладками из изоляционного материала.

В современных машинах для контактной сварки широко применяют сварочные трансформаторы с обмотками, залитыми эпоксидным компаундом в один монолитный блок. Такая конструкция улучшает условия охлаждения обмоток,

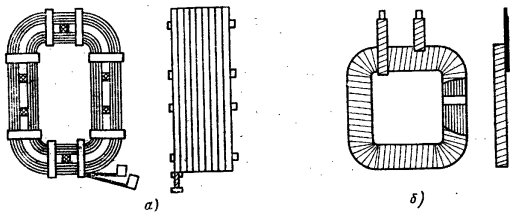


Рис. 4. Первичные обмотки сварочных трансформаторов:
а — цилиндрическая; *б* — дисковая

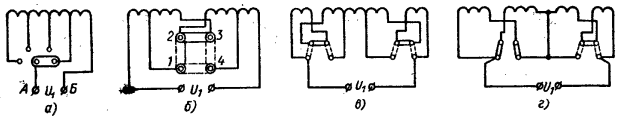


Рис. 5. Схемы секционирования первичных обмоток трансформаторов

повышает механическую прочность и надежность трансформатора. В некоторых случаях эпоксидным компаундом заливают обмотки вместе с магнитопроводом.

Для ступенчатого регулирования сварочного тока предусматривают изменение коэффициента трансформации, для чего секционируют первичную обмотку.

В зависимости от назначения и мощности сварочных трансформаторов применяют различные схемы секционирования обмоток. При этом необходимо выполнять требования, изложенные в ГОСТ 297—73.

На рис. 5, *а* приведена схема секционированной обмотки. Она может быть применена только для случаев, когда при любом положении перемычки напряжение между двумя любыми другими точками не превысит более чем на 50% напряжение питающей сети U_1. Схемы, изображенные на рис. 5, *б* и *в* (с одним или двумя разрывами обмоток), предназначены для устранения этого недостатка, однако наибольшее распространение получили обмотки, выполненные по схеме, приведенной на рис. 5, *г*. Схема с последовательно-параллельным включением витков позволяет существенно уменьшить расход меди в первичной обмотке и равномерно разместить витки первичной обмотки относительно вторичной (уменьшить потоки рассеяния). При применении такой схемы на первой ступени регулирования все витки первичной обмотки соединены последовательно, на промежуточных ступенях часть витков соединена параллельно, а другая часть — последовательно, а на последней ступени все витки соединены параллельно.

ПНЕВМАТИЧЕСКАЯ И ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ АППАРАТУРА

Для управления работой пневматического и гидравлического приводов, широко применяемых в машинах контактной сварки, как правило, применяют пневмо- и гидроаппаратуру общего применения.

Для подготовки воздуха в машинах устанавливают фильтры-влагоотделители типа БВ-41 (рис. 6), которые очищают подаваемый в машину сжатый воздух от твердых частиц величиной более 0,05 мм, частиц воды и компрессорного масла.

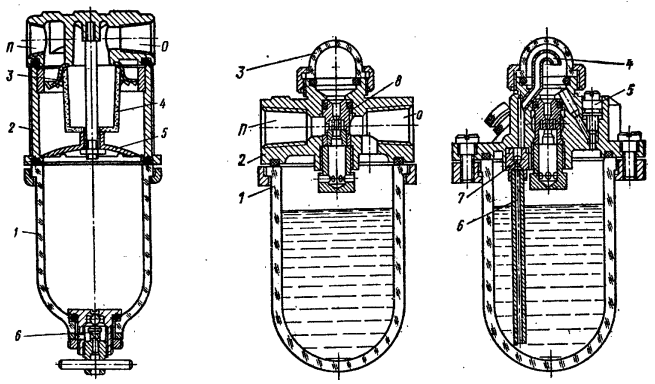


Рис. 6. Фильтр-влагоотделитель БВ-41:
П — подвод сжатого воздуха; *О* — выход; *1* — стакан; *2* — корпус; *3* — отражатель; *4* — металлокерамический фильтр; *5* — заслонка; *6* — запорный клапан

Рис. 7. Маслораспылитель БВ-44:
П — подвод сжатого воздуха; *О* — выход; *1* — стакан; *2* — корпус; *3* — колпак; *4* — трубка; *5* — дроссель; *6* — всасывающая трубка; *7* — шариковый клапан; *8* — распылитель

Для смазки трущихся частей пневмопривода и пневмоаппаратуры используют маслораспылители типа БВ-44 (рис. 7).

Давление сжатого воздуха, подаваемого в пневмоприводы машин, регулируют с помощью редукционных пневмоклапанов, которые выпускают по ГОСТ 18468—73.

Для управления подачей сжатого воздуха в камеры пневмоцилиндров используют воздухораспределители различных систем. Чаще применяют воздухораспределители с электропневматическим управлением — электропневматические клапаны. На рис. 8 изображен двухпозиционный четырехходовой распределитель с односторонним электропневматическим управлением типа КЭП-15, предназначенный для машин контактной сварки. В этом распределителе для управления установлен электромагнит постоянного тока с малой потребляемой мощностью, что позволяет использовать клапан в машинах с бесконтактными системами управления. Сжатый воздух из сети через отверстие *С* в корпусе *3* подводится к полости *А*.

При обесточенной катушке электромагнита шток *2* с закрепленными на нем резиновыми буферами под действием пружины *1* занимает крайнее верхнее поло-

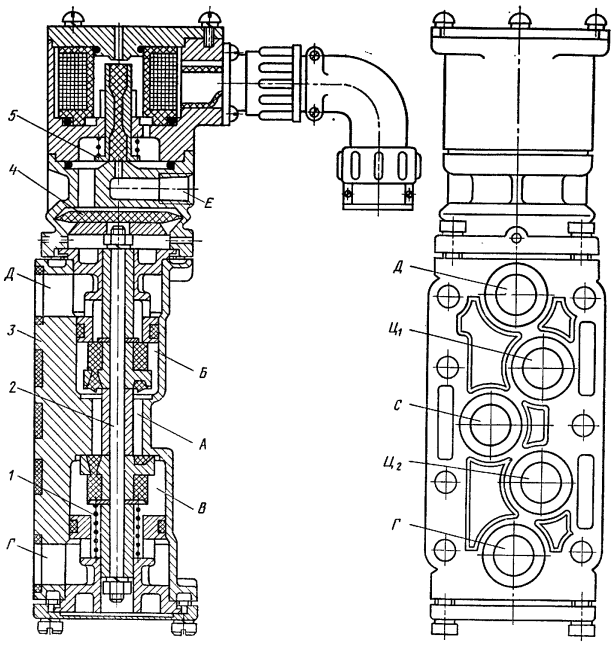


Рис. 8. Двухпозиционный четырехходовой распределитель с односторонним электропневматическим управлением типа КЭП-15

жение. При этом сжатый воздух проходит из полости *А* через полость *Б* в отверстие $Ц_1$, а отверстие $Ц_2$ будет сообщаться с окружающей средой через отверстие *Г*.

При подаче напряжения на катушку электромагнита якорь *5* втягивается и открывает доступ сжатому воздуху, подводимому из сети к отверстию *Е* в полость над мембраной *4*. Мембрана *4* прогибается и отжимает шток *2* в крайнее нижнее положение. При этом сжатый воздух из полости *А* поступает через полость *В* к отверстию $Ц_2$, а отверстие $Ц_1$ через полость *Б* и отверстие *Д* сообщается с окружающей средой.

Электромагнит распределителя КЭП-15 питается от источника постоянного тока напряжением 24 В и потребляет не более 15 Вт. Распределитель рассчитан на работу при максимальном рабочем давлении 6,3 кгс/см^2. Максимальное число переключений в минуту 300. Для регулирования скоростей перемещения поршней пневмоприводов (смягчения ударов) в машинах контактной сварки применяют дроссели с обратным клапаном. Кроме дросселей общего применения (типа ВН-17-7-1, В77-2) используют дроссель типа КДП1-1 (рис. 9). При подаче сжатого воздуха через отверстие *А* воздух отжимает шарик *3*, прижимаемый пружиной *4*,

и свободно проходит к отверстию *Б* в корпусе *5* клапана. При обратном движении сжатого воздуха шарик *3* закрывает проход к отверстию *А* и сжатый воздух вынужден проходить через отверстие *В*, сечение которого регулируется винтом *1* с уплотнением *2*. Изменяя сечение проходного отверстия, регулируют скорость прохода сжатого воздуха, а, следовательно, и скорость перемещения штока.

Дроссели КДП1-1 выпускают с присоединительными резьбами К 1/2″ и К 3/8″, а дроссели В77-1 и В77-2 — с присоединительными резьбами К1″, К 3/4″, К 1/2″, К 3/8″ и К 1/4″.

В некоторых случаях для быстрого освобождения внутренней полости пневмоцилиндра от сжатого воздуха применяют выхлопной клапан типа КПВМ 15/25 (рис. 10).

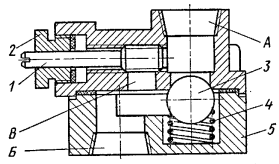


Рис. 9. Дроссель типа КДП1-1

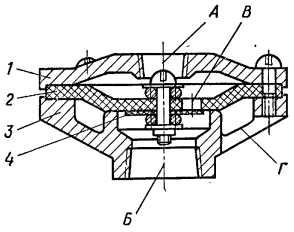


Рис. 10. Выхлопной клапан типа КПВМ 15/25

Клапан имеет корпус *3*, резиновую диафрагму *2* и крышку *1*. Отверстие *В* диафрагмы прикрыто резиновым клапаном *4*.

Сжатый воздух подводится к отверстию *А*. При этом резиновая диафрагма *2* прижимается к седлу на корпусе *3* и сжатый воздух отжимает клапан *4* и через отверстия *В* и *Б* поступает в пневматический цилиндр. Для того чтобы быстро удалить сжатый воздух из полости цилиндра, необходимо прекратить подачу воздуха через отверстие *А*. При этом резиновая диафрагма *2* под действием избыточного давления в цилиндре отойдет от седла на корпусе *3* и обеспечит свободный выход сжатого воздуха в окружающую среду через отверстия *Г* большого сечения.

Для снижения аэродинамического шума пневматических приводов до допускаемого санитарными нормами в сварочном оборудовании применяют активные глушители трения типа ГП. При прохождении сжатого воздуха через пористый корпус глушителя энергия звуковых колебаний гасится и уровень шумов снижается примерно в 3—4 раза.

Для получения больших усилий сжатия, перемещений с заданной скоростью или со скоростью, изменяющейся по заданному закону, а также при необходимости создания привода малого габарита используют гидравлический привод. Для управления гидроприводами машин для контактной сварки применяют серийное гидравлическое оборудование общего применения. Питание гидроприводов машин контактной сварки производится, как правило, от насосных станций, выполненных в виде отдельных гидроагрегатов, укомплектованных гидроаппаратурой в соответствии с гидросхемой машины. Для этой цели используют, например, унифицированные станции типа Г-48 с вместимостью баков 60, 100, 160 и 250 л; станции снабжены воздушными теплообменниками и терморегуляторами.

Регулирование давления в гидросистемах осуществляется с помощью редукционных клапанов с регуляторами, а для управления приводом применяют аппараты с ручным, путевым или дистанционным управлением. Применяют также и гидравлическую аппаратуру: для фильтрации масла (фильтры), предохранения гидросистем от перегрузок (предохранительные клапаны), регулирования скорости перемещения рабочего органа (дроссели с регуляторами) — и другую аппаратуру.

МАШИНЫ ДЛЯ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ

Серийные машины для точечной сварки изготовляют на номинальные токи: а) до 40 кА при питании от однофазной сети переменного тока; б) до 160 кА для питания от трехфазной сети переменного тока (с выпрямлением во вторичном контуре), конденсаторные.

В стационарных машинах для контактной сварки обычно неподвижен нижний электрод, а верхний электрод перемещается по дуге окружности (радиальные машины) или прямолинейно (прессовые машины).

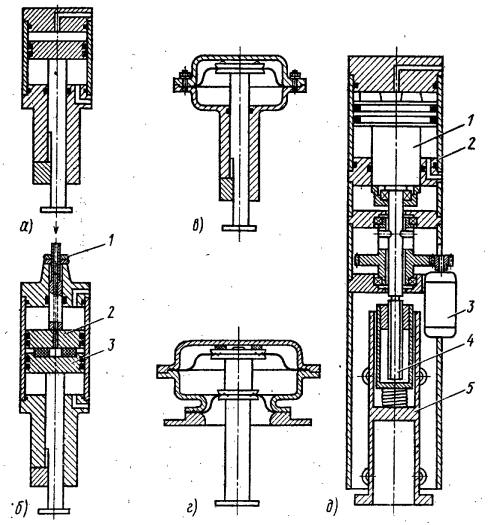


Рис. 11. Пневматические приводы сжатия электродов для машин контактной сварки

Расстояние между электродами устанавливают в зависимости от толщины и конфигурации свариваемых изделий и оно составляет 15—40 мм. В некоторых случаях для установки и съема изделий сложной конфигурации применяют приводы сжатия с устройствами для дополнительного перемещения верхнего электрода на 100—200 мм.

Рычажные приводы применяются в машинах малой мощности с усилием сжатия до 300 кгс, для больших усилий сжатия применяют пневматические и гидравлические приводы сжатия.

Наибольшее распространение в современных машинах для точечной сварки получил пневматический привод сжатия электродов, обеспечивающий получение широкого диапазона усилий, независимость усилия сжатия от износа электродов, возможность плавного регулирования усилия в широком диапазоне, высокую производительность (до 500 сварок в минуту) и возможность получения ступенчатого изменения усилия в процессе сварки.

На рис. 11 показаны пневмоприводы различных типов, применяемые в современных машинах для точечной сварки. Пневмопривод двустороннего действия (рис. 11, *а*) имеет две камеры. Необходимое усилие сжатия создается при подаче сжатого воздуха в верхнюю камеру. Усилие определяется площадью поршня и давлением сжатого воздуха. Обычно нижняя полость в этот момент сообщается с окружающей средой. Однако в некоторых случаях для расширения пределов регулирования усилия прижатия электродов сжатый воздух подают одновременно в обе камеры. В этом случае усилие определяется разностью площадей, на которые давит сжатый воздух, равной площади сечения штока поршня.

Пневмопривод с регулируемым дополнительным ходом (рис. 11, *б*) устанавливают в большинстве серийных стационарных машин. Подъем верхнего электрода, закрепленного на штоке поршня *3*, определяется положением поршня *2*, которое регулируется гайками *1*. Под действием сжатого воздуха, подаваемого в верхнюю полость пневмоцилиндра, поршень *2* опускается и служит упором для поршня *3*. Рабочими полостями пневмопривода являются средняя и нижняя полости, куда через распределитель подается редуцированный сжатый воздух.

Если необходимо дополнительно поднять верхний электрод (при съеме и установке свариваемого изделия, при зачистке электрода и т. д.), то нужно выпустить сжатый воздух из верхней камеры в окружающую среду (с помощью крана или распределителем). Тогда сжатый воздух, поданный в нижнюю камеру, поднимет поршни *3* и *2* до упора в верхнюю крышку. В некоторых случаях применяют одно- или многодиафрагменные приводы. К их достоинствам следует отнести простоту и надежность, малую инерционность и возможность получения малых усилий из-за отсутствия трения манжет для уплотнения штока и поршня. К недостаткам диафрагменных приводов следует отнести зависимость развиваемого усилия от рабочего хода и малый ход, который обеспечивают такие приводы. Однодиафрагменный привод изображен на рис. 11, *в*.

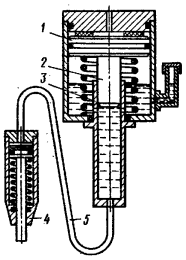


Рис. 12. Пневмогидропреобразователь

Двухдиафрагменный привод (рис. 11, *г*) позволяет получать малые усилия в результате того, что сжатый воздух одновременно подается в верхнюю и среднюю полости. В этом случае усилие определяется разностью площадей диафрагм, которая может быть выбрана достаточно малой. В некоторых случаях применяют поршневые или диафрагменные приводы в комбинации с электромеханическим приводом дополнительного хода (рис. 11, *д*). Электродвигатель *3* с помощью ходового винта *4* перемещает ползун *5* с верхним электродом относительно штока *1* пневмоцилиндра *2*.

Гидравлический привод применяют в стационарных машинах большой мощности с усилием сжатия электродов в несколько тысяч кгс и в многоэлектродных машинах. Обычно это поршневые приводы с питанием от гидронасосных станций. В подвесных машинах и в многоэлектродных машинах некоторых типов используют пневмогидравлический привод, в котором вместо гидронасосной станции применяют пневмогидропреобразователи. При подаче сжатого воздуха в полость над поршнем *1* пневмогидропреобразователя (рис. 12) шток *2* выталкивает масло из корпуса *3* по шлангам высокого давления *5* в гидроцилиндр *4*, шток которого связан с электродом.

Давление в магистрали высокого давления

$$p_1 = \frac{D^2}{d^2} p_2,$$

где p_2 — давление сжатого воздуха, подаваемого в пневмогидропреобразователь; D — диаметр поршня; d — диаметр штока.

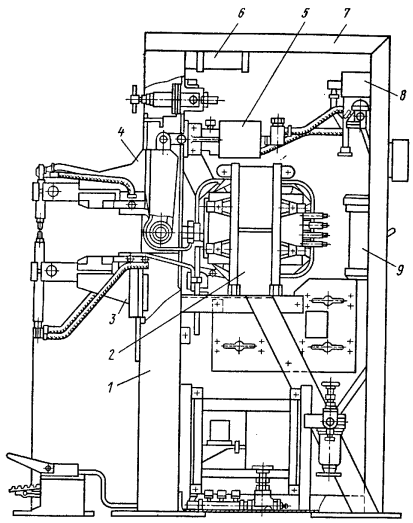


Рис. 13. Машина типа МТ-810 для точечной сварки:
1 — корпус; *2* — трансформатор сварочный; *3* — нижний кронштейн; *4* — угловой рычаг; *5* — пневмопривод; *6* — регулятор цикла сварки; *7* — Г-образный кожух; *8* — клапан электропневматический; *9* — автоматический выключатель

Для сварки низкоуглеродистой стали толщиной от 0,2 + 0,2 до 5 + 5 мм выпускают стационарные машины с радиальным ходом верхнего электрода на сварочные токи 6,3; 8, 12,5 и 16 кА. Машину типа МТ-604 (с номинальным сварочным током 6,3 кА) выпускают в двух вариантах: с пневматическим и с педальным приводами сжатия электродов. Остальные радиальные машины снабжены только пневматическими приводами сжатия.

В машинах с радиальным ходом установлены бесконтактные регуляторы цикла сварки, синхронные тиристорные контакторы и воздушные распределители с электропневматическим управлением. Машина типа МТ-810 с радиальным ходом верхнего электрода показана на рис. 13. Отличительной особенностью машин этого типа является горизонтальное размещение пневматического привода *5* сжатия электродов на силовой стойке корпуса *1* машины. Шток пневмоцилиндра шарнирно соединен с угловым рычагом *4*, в котором закреплена консоль с верхним электродом.

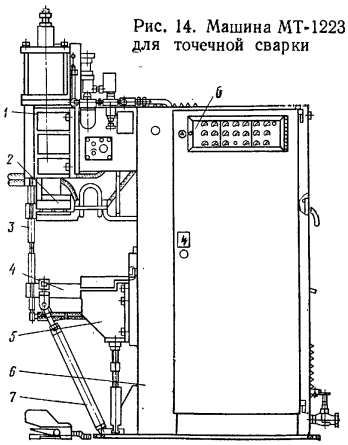


Рис. 14. Машина МТ-1223 для точечной сварки

Машины МТ-1214 и МТ-1614 с машиной МТ-810 имеют идентичное исполнение и отличаются друг от друга только размерами и техническими параметрами. Кроме того, машина МТ-1614 имеет двухпоршневой пневмопривод, обеспечивающий дополнительный ход верхнего электрода.

Техническая характеристика стационарных однофазных машин переменного тока для точечной сварки приведена в табл. 2. Для сварки низкоуглеродистых и легированных сталей и сплавов толщиной от 0,5 + 0,5 до 8 + 8 мм выпускают однофазные машины переменного тока с прямолинейным ходом верхнего электрода на номинальные сварочные токи от 12,5 до 40 кА с вылетом электродов от 500 до 120 мм. Техническая характеристика этих машин приведена в табл. 3. Машины этой группы имеют пневматические приводы сжатия электродов, снабжены бесконтактными регуляторами цикла сварки, синхронными тиристорными прерывателями и сварочными трансформаторами с обмотками, залитыми эпоксидным компаундом.

На рис. 14 изображена машина МТ-1223, предназначенная для сварки изделий из легированной стали и сплавов. На верхнем кронштейне сварного корпуса *6* установлен пневматический привод *1* сжатия электродов. К нижнему фланцу ползуна пневмопривода прикреплено верхнее электродное устройство *2* с электрододержателем *3*. Нижняя консоль *4* с электрододержателем установлена в нижнем кронштейне *5*, закрепленном на корпусе *6*. Для перемещения нижнего кронштейна по вертикали в машине установлен винтовой домкрат. Для уменьшения прогиба нижней консоли с электродом при сварке на максимальных усилиях

2. Техническая характеристика однофазных машин для точечной сварки с радиальным ходом верхнего электрода

Параметр	МТ-604	МТ-810	МТ-1214	МТ-1614
Напряжение сети, В (при 50 Гц)	220 или 380	380	380	380
Мощность, кВА	14,8	20	50	85
Первичный ток, А	67 или 38,6	52,5	132	224
Сварочный ток, кА	6,3	8,0	12,5	16,0
Номинальный длительный вторичный ток, кА	2,8	3,6	5,6	7,0
Число ступеней регулирования коэффициента трансформации	4	8	8	8
Пределы регулирования вторичного напряжения, В	1,63—2,66	1,42—2,84	2,2—4,4	3,0—6,0
Вылет электродов, мм:				
номинальный	250	300	400	500
максимальный	275	315	420	600
минимальный	200	200	250	350
Раствор, мм:				
номинальный	150	150	150	180
максимальный	250	270	270	300
минимальный	150	150	150	180
Усилие сжатия электродов, кгс	200	300	500	630
Ход электродов, мм (рабочий + дополнительный)	20	20	30	30+50
Диапазон свариваемых толщин деталей из низкоуглеродистой стали, мм	0,2+0,2 ≏ 2+2	0,25+0,25 ≏ 3+3	0,5+0,5 ≏ 4+4	0,5+0,5 ≏ 5+5
Максимальная производительность при сварке деталей минимальных толщин и рабочем ходе 10 мм, число сварок в минуту	180	200	200	200
Расход охлаждающей воды, л/ч не более	140	180	210	230
Габаритные размеры, мм:				
высота	1237	1410	1574	1574
ширина	452	410	430	430
длина	833	1083	1230	1340
Масса, кг	200	325	440	540
Тип регулятора цикла сварки	РЦС-301	РЦС-403	РЦС-403	РЦС-403

3. Техническая характеристика однофазных машин переменного тока для точечной сварки

Параметр	МТ-1217	МТ-1222	МТ-1223	МТ-1617	МТ-1618	МТ-2002	МТ-2517	МТ-4017
Мощность, кВА	65	60	85	110	100	221	170	495
Первичный ток, А	180	154	224	296	264	580	445	1300
Сварочный ток, кА	12,5	12,5	12,5	16,0	16,0	20,0	25,0	40,0
Номинальный длительный вторичный ток, кА	9,0	7,0	5,6	9,0	9,0	9,0	14,0	18,0
Число ступеней регулирования коэффициента трансформации	6	8	8	6	6	8	—	8
Пределы изменения коэффициента трансформации	75—112	83—166	56—125	60—89	56—125	32—64	—	32—64
Вылет электродов, мм	500	500	500	500	500	1200	500	500
Раствор, мм:								
минимальный	270	30	150	270	220	200	240	180
максимальный	370	220	300	370	320	300	540	280
Усилие сжатия электродов, кгс	314	618	1568	618	618	1960	1230	2460
Общий ход электрода, мм (рабочий + дополнительный)	50	80	100	50	80	100	100	120
Диапазон свариваемых толщин, мм:								
из низкоуглеродистой стали	От 0,7+0,7 до 1,5+1,5	От 0,5+0,5 до 5+5	—	От 0,8+0,8 до 2,3+2,3	От 0,8+0,8 до 2,5+2,5	От 1+1 до 4+4	От 1+1 до 4+4	От 2,5+2,5 до 8+8
из легированной стали и титановых сплавов	—	—	От 0,5+0,5 до 2,5+2,5	—	—	От 1+1 до 4+4	—	От 2+2 до 4+4
Быстродействие, ход/мин	250	375	150	300	300	150	150	70
Расход свободного воздуха, $м^3/10^2$ циклов	0,4	0,6	0,6	0,8	0,6	0,8	2,0	0,75
Расход воды, л/ч	700	600	700	700	700	1000	1000	1100
Габаритные размеры, мм:								
высота	1810	1900	2250	1820	1695	2320	2200	2370
ширина	490	386	550	490	450	590	550	590
длина	1425	1340	1700	1425	1420	2450	1685	1600
Масса, кг	750	440	1110	800	800	1680	1200	1430

Примечание. Напряжение сети (при 50 Гц) 380 В.

применяют съемную подпорку *7*. Внутри корпуса машины установлен сварочный трансформатор с переключателем ступеней, регулятор *8* цикла сварки, тиристорный контактор и другие элементы электрического устройства и схемы охлаждения. Элементы пневматического устройства закреплены на верхнем кронштейне корпуса рядом с пневмоприводом. В машине установлен автоматический выключатель с дистанционным расцепителем и предусмотрена электрическая блокировка дверей. Рукоятки включения автомата и переключателей ступеней сварочного трансформатора выведены наружу. Для доступа к рукояткам регулятора цикла имеется специальная дверца с щитком из оргстекла.

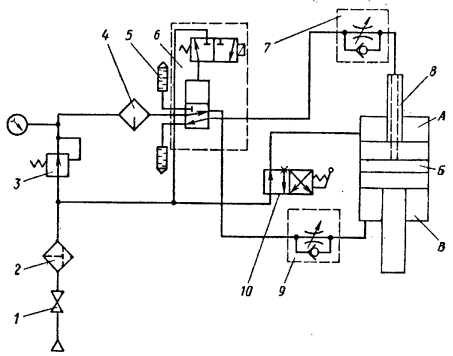


Рис. 15. Пневматическая схема машины для точечной сварки

Типовая пневматическая схема машины с прямолинейным ходом верхнего электрода показана на рис. 15. Сжатый воздух из сети через входной вентиль *1* и фильтр-влагоотделитель *2* подводится к воздушному редуктору *3*, крану управления *10* и управляющему клапану электропневматического воздухораспределителя *6*. Через открытый кран управления *10* воздух поступает в полость *А* цилиндра *8* пневмопривода, а редуцированный воздух из редуктора *3* через маслораспылитель *4* подводится к входу воздухораспределителя *6*. При выключенном электромагните воздухораспределителя сжатый воздух поступает в полость цилиндра *8*. При этом верхний поршень пневмоцилиндра будет находиться в крайнем нижнем положении, а нижний поршень поднимается до упора в верхний поршень. С помощью крана *10* можно прекратить подачу сжатого воздуха в полость *А* и одновременно сообщить эту полость с окружающей средой. Тогда под действием сжатого воздуха, подаваемого в камеру *В*, оба поршня пневмоцилиндра пойдут вверх (дополнительный ход). При включении электромагнита воздухораспределителя *6* сжатый воздух поступает в камеру *Б*. При этом нижний поршень идет вниз. Скорость перемещения нижнего поршня вниз регулируют дросселирующим клапаном *9*, а скорость перемещения вверх — клапаном *7*. Для снижения шума от выхлопа сжатого воздуха применяют металлокерамические глушители *5*.

Для точечной сварки крупногабаритных изделий из легированных сталей, легких сплавов, титановых сплавов и низкоуглеродистой стали вместо ранее применявшихся низкочастотных машин выпускают стационарные машины для точечной сварки с выпрямлением тока во вторичном контуре. Машины предназначены для питания от сети трехфазного переменного тока.

Выпрямление сварочного тока осуществляется с помощью выпрямительных блоков (рис 16), установленных во вторичном контуре машины. Блоки состоят из восьми выпрямительных вентилей *3*, зажатых между верхней плитой *2* и мед-

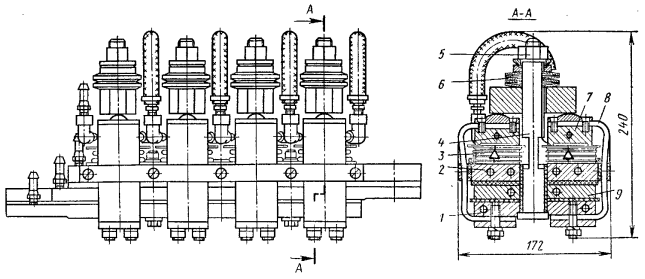


Рис. 16. Выпрямительный блок

4. Техническая характеристика серийно выпускаемых машин для точечной сварки

Параметр	МРВР-4001	МТВ-6304	МТВ-8002	МТВ-16002
Мощность, кВА	350	600	600	1200
Первичный ток, А	520	800	—	—
Сварочный ток, кА	40	63	80	160
Номинальный длительный вторичный ток, кА	14	28	36	56
Число ступеней регулирования коэффициента трансформации	6	8	8	8
Вылет электродов, мм	800—1200	1500	1500	1700
Раствор, мм:				
минимальный	140	—	—	—
максимальный	380	500	600	650
Усилие сжатия электродов, кгс	118—1220	175—4900	380—7050	1270—19 600
Общий ход электрода, мм (рабочий + дополнительный)	18—200	20—180	30—200	30—200
Диапазон свариваемых материалов, мм:				
низкоуглеродистые стали	От 0,3+0,3 до 3+3	—	—	—
легированная сталь и титановые сплавы	От 0,3+0,3 до 2,5+2,5	От 0,5+0,5 до 5+5	От 0,8+0,8 до 5+5	От 3+3 до 10+10
алюминиевые сплавы	От 0,3+0,3 до 2,5+2.5	От 0,5+0,5 до 3+3	От 1+1 до 4,5+4,5	От 3+3 до 8+8
Номинальный темп работы, циклов/мин	60	60	20	10
Расход свободного воздуха, м³/10 циклов	0,5	0,7	0,8	—
Расход охлаждающей воды, л/ч	3000	3200	4800	7200
Габаритные размеры, мм:				
высота	1637	2550	3750	4000
ширина	900	950	1160	1160
длина	3020	3660	3455	3635
Масса, кг	2640	4200	6600	14 000

Примечание. Напряжение сети (при 50 Гц) 380 В.

ными колодками *7* с помощью болтов *4* и гаек *5* через тарельчатые пружины *6* с усилием примерно 2200 кгс. Колодки *7* соединены с нижней плитой *1* гибкими медными шинками *8*. Средняя плита *9* и нижняя плита *1* соединены с выводными колодками вторичной обмотки сварочного трансформатора, а аноды вентилей *3* соединены с верхней плитой *2*, которая подключена к сборной шине выпрямителя. Средняя плита *9* подключена к положительной сборной шине. Токоведущие элементы (кроме гибких шин из фольги) охлаждаются водой.

Серийно выпускаются машины на 40, 63, 80 и 160 кА. Техническая характеристика этих машин приведена в табл. 4. Машину со сварочным током на 40 кА

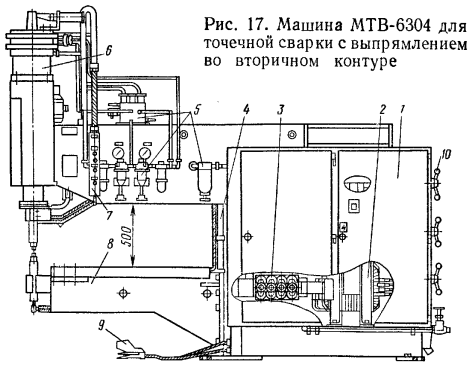


Рис. 17. Машина МТВ-6304 для точечной сварки с выпрямлением во вторичном контуре

выпускают с радиальным ходом верхнего электрода; остальные машины — прессового типа.

На рис. 17 приведена машина МТВ-6304 для точечной сварки постоянным током крупногабаритных изделий из легких сплавов, коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и титановых сплавов. Машина имеет сварной корпус *1*, основой которого является жесткая Г-образная стойка. На верхнем горизонтальном кронштейне стойки закреплен пневматический двухдиафрагменный привод *6* сжатия с электромеханическим устройством для дополнительного перемещения верхнего электрода. Позади стойки корпуса установлен трехфазный сварочный трансформатор *2*, к выводным колодкам вторичных витков которого прикреплены шесть выпрямительных блоков *3*, охватывающих с двух сторон стойку корпуса *1* и подсоединенных к сборной шине *4*. К стойке корпуса прикреплен нижний кронштейн *8* с электрододержателем и нижним электродом. Верхний электрододержатель установлен на фланце ползуна привода сжатия. На верхнем кронштейне корпуса машины размещены элементы пневматического устройства *5*. Управление машиной производится от подвесного пульта *7* или ножной педальной кнопки *9*. Барабанные переключатели *10* ступеней сварочного трансформатора вынесены на заднюю стенку корпуса *1*. Машина комплектуется шкафом управления типа ШУ-255-1.

Для сварки изделий из легких сплавов, легированных и жаропрочных сталей, а также из сплавов других цветных металлов серийно выпускаются конденсаторные машины на сварочные токи 50, 63 и 80 кА. В этих машинах сварку производят за счет энергии, запасенной в батарее электролитических низковольтных конденсаторов, которые заряжаются от сети переменного тока через управляемый выпрямитель до определенного (регулируемого) напряжения.

5. Техническая характеристика конденсаторных машин для точечной сварки

Параметр	МТК-5001	МТК-6301	МТК-8004
Номинальный сварочный ток, кА	50	63	80
Номинальный длительный вторичный ток, кА	8	11,2	14
Потребляемая мощность, кВА	20	40	70
Максимальная емкость батареи конденсаторов, мкФ	105 000	166 600	315 000
Усилие сжатия электродов, кгс:			
сварочное	147—520	160—970	177—2450
ковочное	490—1670	290—2180	670—4900
Номинальный вылет электродов, мм	600	1200	1500
Раствор, мм	300	300	450
Дополнительный ход верхнего электрода, мм	100	200	180
Рекомендуемые толщины свариваемых деталей, мм:			
из сплавов алюминия и титана	От 0,3+0,3 до 1,5+1,5	От 0,5+0,5 до 2+2	От 0,3+0,3 до 2,5+2,5
из легированной стали	От 0,3+0,3 до 1,2+1,2	От 0,3+0,3 до 1,5+1,5	От 0,3+0,3 до 2+2
Расход свободного воздуха, м³/10 ходов	0,15	0,4	0,7
Расход охлаждающей воды, л/ч	800	900	3000
Габаритные размеры, мм:			
высота	2400	2550	3190
ширина	2460	2730	3820
длина	1000	910	1260
Масса, кг	2700	4500	6000

Примечание. Напряжение сети (при 50 Гц) 380 В. Рабочий ход верхнего электрода 20 мм.

Специальным переключающим устройством батарею разряжают через первичную обмотку сварочного трансформатора, а на сварочном токе во вторичной обмотке этого трансформатора осуществляют сварку. Батарея заряжается в промежутках между сварками; зарядка длится во много раз дольше, чем разрядка, поэтому мощность, потребляемая машиной из сети, сравнительно невелика. К преимуществам машин для конденсаторной сварки следует также отнести и стабильность сварочного импульса, к недостаткам — сложность и более высокую стоимость.

Техническая характеристика мощных конденсаторных машин приведена в табл. 5.

Кроме перечисленных выше машин для сварки изделий малых толщин из цветных и черных металлов получили распространение конденсаторные сварочные машины малой мощности. Такие машины используют в приборостроении, радиоэлектронике, электротехнике и в других отраслях промышленности. Техническая характеристика некоторых конденсаторных машин малой мощности приведена в табл. 6.

Машина МТК-1601 может работать с одним или двумя импульсами сварочного тока. В этой машине регулируются: емкость батареи конденсаторов, коэффициент трансформации сварочного трансформатора, напряжение заряда батареи конденсаторов, усилие сжатия электродов, скорость опускания верхнего электрода, время паузы между импульсами сварочного тока, полярность импульса, при автоматической работе — число сварок в единицу времени.

6. Техническая характеристика конденсаторных машин малой мощности

Параметр	ТКМ-14	ТКМ-15	МТК-1601
Номинальный сварочный ток, кА	—	—	16
Потребляемая мощность, кВА	0,3	0,6	2
Максимальная емкость батареи конденсаторов, мкФ	750	600	3200
Максимальное напряжение заряда конденсаторов, В	400	960	500
Привод сжатия электродов	Педальный	Педальный с электрогидротолкателем	Пневматический
Пределы регулирования усилия сжатия электродов, кгс	0,05—7	1—50	9—63
Вылет электродов, мм	150	150	150
Ход верхнего электрода, мм:			
рабочий	15	20	5
дополнительный	—	—	25
Рекомендуемая толщина свариваемых деталей, мм	Никель от 0,01+0,01 до 0,2+0,2	Низкоуглеродистая сталь от 0,05+0,05 до 0,7+0,7	Низкоуглеродистая сталь от 0,05+0,05 до 0,8+0,8
Габаритные размеры, мм:			
высота	1000	685	1365
ширина	780	800	940
длина	1285	1285	980
Масса, кг	200	200	400

Примечание. Напряжение сети (при 50 Гц) 220 или 380 В.

Машина МТК-1601 (рис. 18) имеет сварной корпус *6*, внутри которого размещены сварочный трансформатор *5*, электрическое устройство *8*, система охла

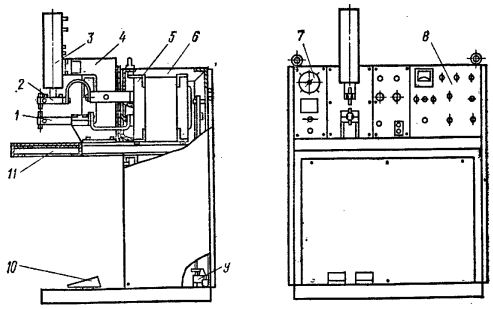


Рис. 18. Машина МТК-1601 конденсаторная для точечной сварки

ждения *9*, пневматическое устройство *7* и С-образный кронштейн *4*, на котором закреплен пневматический привод *3* сжатия с верхним электрододержателем *2*

и нижний электрододержатель *1*. Все органы управления машиной выведены на переднюю панель. Управление циклом машины и дополнительным ходом верхнего электрода осуществляется от ножных педальных кнопок *10*. Для доступа к отдельным частям машины, установленным внутри корпуса, предусмотрена двустворчатая дверь на ее задней стенке. Пневматический привод сжатия состоит из двухпоршневого пневмоцилиндра, шток которого шарнирно соединен с ползуном направляющего устройства. Призматический ползун перемещается в направляющих с трением качения. Для сварки крупногабаритных изделий предусмотрена возможность отсоединения и снятия горизонтального столика *11*.

Крупногабаритные, громоздкие изделия, точечная сварка которых затруднена или невозможна на стационарных сварочных машинах, сваривают с помощью подвесных машин или клещей со встроенными трансформаторами. Особенно широко применяют такие машины при сварке кузовов легковых и кабин грузовых

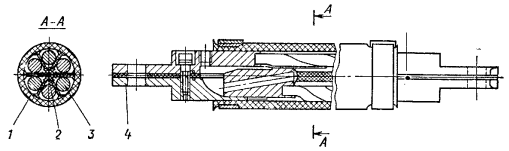


Рис. 19. Токоведущий коаксиальный кабель

автомашин в автомобилестроении и для сварки арматурных каркасов железобетонных изделий.

Подвесные машины состоят из сварочного трансформатора, закрепленного на специальном подвесном устройстве, и сварочных клещей, которые являются рабочим инструментом. Клещи соединяются со сварочным трансформатором одним (коаксиальным) или двумя токоведущими гибкими кабелями. Для облегчения пользования клещи подвешивают на стальном тросе с пружинным или грузовым противовесом. Машины комплектуют тиристорными контакторами и регуляторами цикла сварки. Сварочные трансформаторы подвесных машин имеют повышенные вторичные напряжения (до 16—20 В), так как соединительные токоведущие кабели имеют высокое омическое, а в случае применения двух кабелей (прямого и обратного) и индуктивное сопротивления.

Обычно это достигается тем, что вторичная обмотка сварочного трансформатора состоит из двух последовательно соединенных витков. В некоторых случаях предусматривается возможность соединения вторичных витков либо последовательно, либо параллельно.

Токоведущие кабели коаксиального типа (рис. 19) состоят из наружной резинотканевой оболочки *1*, в которой размещены несколько изолированных специальной профильной прокладкой *2* и переплетенных медных гибких проводников *3*. Для уменьшения массы и придания кабелю большей гибкости в токоведущих кабелях подвесных машин применяют внутреннее водяное охлаждение жил, что позволяет повысить плотность тока до 15—20 А/мм². Концы токоведущих проводников запаивают в специальные наконечники *4*, которые служат для подсоединения к выводным колодкам сварочного трансформатора и к клещам.

Раздельные токоведущие кабели обладают несколько большей гибкостью и значительно большим индуктивным сопротивлением. Они состоят из резинотканевой оболочки, внутри которой помещаются охлаждаемые водой токоведущие медные жилы. В промышленности используют клещи различных типов с прямолинейным и радиальным ходом электродов. Клещи с пневматическим приводом сжатия и прямолинейным ходом электрода изображены на рис. 20, *а*. Эти клещи предназначены для сварки арматурных сеток. Клещи с радиальным ходом элек-

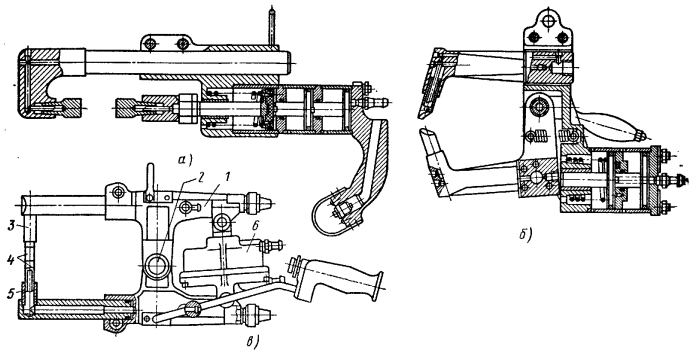


Рис. 20. Клещи с пневматическим приводом для машин с подвесным трансформатором:
1 — верхний рычаг; *2* — ось; *3* — верхний электрододержатель; *4* — электроды; *5* — нижний электрододержатель; *6* — пневмоцилиндр

тродов и с пневматическим приводом сжатия (рис. 20, *б* и *в*) предназначены для сварки листовых изделий и арматурных каркасов.

Клещи с гидравлическим приводом сжатия также изготовляют с прямолинейным и радиальным ходом электродов. На рис. 21 изображена машина типа МТП-806 с пневматическим приводом сжатия клещей. Сварочный трансформатор *1* с витым сердечником и обмотками, залитыми эпоксидным компаундом, подвешен к концу рычага шарнирной подвески *6*. Ко второму концу этого рычага на стальном троссе *5* подвешена стальная планка *4* с клещами *3* типа КТП-8-1 с радиальным ходом электродов и пневматическим приводом сжатия.

Клещи соединены со сварочным трансформатором прямым и обратным токоведущими кабелями *2*. Элементы системы водяного охлаждения, пневматического устройства и электрического устройства закреплены на кожухе сварочного трансформатора *1*.

Техническая характеристика подвесных машин новой серии, выпускаемых вместо машин МТПП-75 и МТПГ-150, приведена в табл. 7.

Для сварки крупногабаритных изделий в монтажных условиях также применяют клещи и пистолеты со встроенными трансформаторами. Возможность создания таких клещей с приемлемой для работы массой и габаритами обеспечила применение

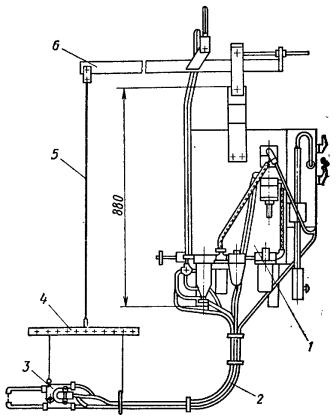


Рис. 21. Машина МТП-806 с подвесным трансформатором

7. Техническая характеристика подвесных машин новой серии

Параметр	МТП-806, МТП-807				МТП-1203	
Мощность, кВА	75				170	
Первичный ток, А	197				447	
Сварочный ток, кА	8				12,5	
Номинальный длительный вторичный ток, кА	3,6				5,6	
Пределы изменения коэффициента трансформации	62,5—28				—	
Производительность при сварке низкоуглеродистой стали, св/мин:						
0,8+0,8 мм	120				120	
1+1 мм	—				—	
Привод сжатия электродов	Пневматический	Пневмогидравлический 1:16			Пневмогидравлический 1:16	
Отношение давлений воздушной сети к гидравлической	—					
Тип клещей	КТП-8	КТГ-8-1	КТГ-8-2	КТГ-8-3	КТГ-12-3-1	КТП-12-3-2
Номинальный вылет электродов, мм	205	205	104	33	150	300
Номинальный ход электродов, мм	15	12	15	15	30+50	10+14
Характер движения электродов, мм	Радиальный	Радиальный	Прямолинейный		Прямолинейный	Радиальный
Усилие сжатия электродов, кгс	255	253	250	320	500	250
Диапазон толщин свариваемых деталей из низкоуглеродистой стали, мм	От 0,5+0,5 до 1,5+1,5	От 0,5+0,5 до 1,5+1,5	От 0,5+0,5 до 1,5+1,5		От 0,5+0,5 до 4+4	От 0,5+0,5 до 2+2
Расход охлаждающей воды, л/ч	650	650	650		1100	
Расход сжатого воздуха при рабочем ходе 10 мм и номинальном усилии, м³/10 ходов	0,04	0,09	0,09		0,02	
Длина токоведущего кабеля, мм	2000	2000	2000		2214	

Примечание. Напряжение сети (при 50 Гц) 380 В.

ленточной трансформаторной стали, кремнеорганической высокотемпературной изоляции и эпоксидных компаундов для заливки обмоток сварочных трансформаторов.

Клещи и пистолеты со встроенными трансформаторами по сравнению с подвесными машинами потребляют значительно меньшие мощности. В некоторых случаях они и удобнее для работы, так как отсутствуют тяжелые токоведущие кабели. Однако клещи со встроенными трансформаторами обладают малой универсальностью, обусловленной особенностью их конструкции. В клещах со встроенным трансформатором применяют ручные, пневматические и пневмогидравлические приводы сжатия электродов. Клещи со встроенным трансформатором выпускают как с радиальным, так и с прямолинейным ходом электродов. Клещи типа К-243В с радиальным ходом электрода для сварки арматуры изображены на рис. 22. На задней раме сварочного трансформатора *3* закреплен диафрагменный пневматический привод *1* сжатия электродов, усилие от которого передается на подвижной электрододержатель *6* с электродом *7* через систему рычагов и тяг *2*. Второй (неподвижный) электрододержатель *8* закреплен на передней раме *5* сварочного трансформатора. Карданная подвеска *4* позволяет поворачивать клещи вокруг продольной и поперечной осей. Для облегчения перемещения клещей по вертикали карданная подвеска подвешивается на стальном тросике пружинного противовеса.

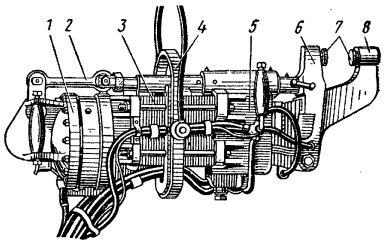


Рис. 22. Клещи К-243В со встроенным трансформатором

Пистолет со встроенным сварочным трансформатором типа К-264 (рис. 23) предназначен для односторонней точечной контактной сварки двумя электродами. В передней литой крышке *2* сварочного трансформатора *1* установлены два электрододержателя *3* с электродами *4*, задние торцы которых через коромысло *7* связаны с пружиной *5*. Электрододержатели *3* соединены гибкими медными шинами *6* с выводными колодками сварочного трансформатора *1*. Прижатие электродов к привариваемой детали производится вручную, для чего пистолет снабжен рукоятками *8*. Клещи и пистолет питаются от сети переменного тока через промежуточный понижающий трансформатор с секционированной для регулирования коэффициента трансформации первичной обмоткой. Промежуточный трансформатор вместе с прерывателем и регулятором цикла сварки размещается в аппаратном шкафу, который соединяется с клещами (и пистолетом) кабелем.

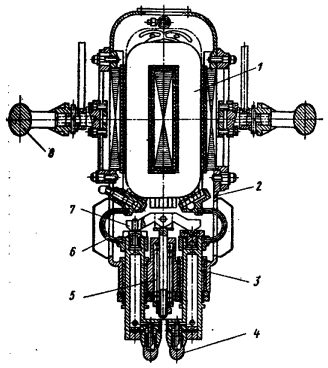


Рис. 23. Пистолет К-264 со встроенным трансформатором

8. Техническая характеристика клещей и пистолета со встроенным трансформатором

Параметр	КТ-801	К-243В	К-264
Номинальный ток, кА			
сварочный	8,0	16,0	6,3
длительный	2,88	4,8	2,2
Номинальная мощность, кВА	30	90	25
Номинальное усилие сжатия электродов, кгс	245	735	29—58
Вылет электродов, мм	77	—	—
Раствор, мм	70	70	—
Расстояние между осями электродов, мм	—	—	30—60
Пределы регулирования вторичного напряжения, В	2,5—3,5	3,05—6,3	2,3—3,3
Максимальная толщина при сварке низкоуглеродистой стали, мм:			
листов	2,0+2,0	5,0+5,0	—
арматуры	20+8	14+40	—
односторонней на медной подкладке	—	—	1,2+1,2
Габаритные размеры, мм:			
высота	643	895	652
ширина	150	235	292
длина	315	345	125
Масса без кабеля и подвесного устройства, кг	27	90	16

Примечание. Напряжение сети (при 50 Гц) 380 В; число ступеней регулирования вторичного напряжения 6.

Техническая характеристика некоторых машин со встроенным трансформатором приведена в табл. 8.

При крупносерийном и массовом производстве изделий с большим числом сварных точек широко используют многоэлектродные машины для точечной сварки. Это, как правило, сложные специализированные агрегаты, в которых кроме сварки производится загрузка, фиксация, транспортировка, выгрузка свариваемых деталей и другие операции. Обычно многоэлектродные машины разрабатывают в каждом отдельном случае применительно к конструкции конкретного изделия и условиям его производства с применением типовых унифицированных узлов. К таким узлам относятся прежде всего сварочные трансформаторы, пневматические и гидравлические сварочные пистолеты, электрододержатели и аппаратура управления.

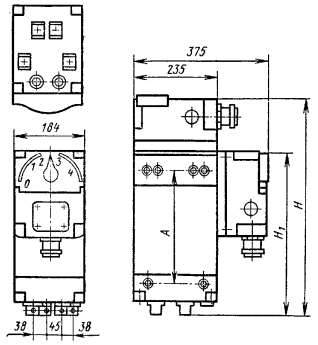


Рис. 24. Трансформатор для многоэлектродной машины

Отечественной промышленностью для многоэлектродных машин выпускаются сварочные трансформаторы трех типоразмеров с двумя раздельными вторичными обмотками, охлаждаемыми водой. Такие трансформаторы рассчитаны на подсоединение четырех сварочных пистолетов

9. Техническая характеристика трансформаторов для многоэлектродных машин

Параметр	Тип трансформатора		
	A	B	C
Первичная мощность при ПВ = 50% кВА	40	60	100
Диапазон изменения напряжения холостого хода, В	3,0—5,0	5,0—7,0	7,0—10,0
Размеры, мм (см. рис. 24):			
H	555	625	745
A	290	360	480
H_1	465	535	655

Примечание. Напряжение сети (при 50 Гц) 380 В; число ступеней регулирования вторичного напряжения холостого хода 4.

(при сварке с односторонним токоподводом) или двух клещей (при сварке с двусторонним токоподводом).

Трансформатор (рис. 24) состоит из блока обмоток, залитых эпоксидным компаундом, магнитопровода из витой электротехнической стали и двух литых рам. Трансформатор выпускается вместе с поворотным переключателем ступеней, имеющим одну нулевую и четыре рабочих ступени. Условные первичные мощности трансформаторов при продолжительности включения ПВ = 50%, соответствующие максимальной ступени регулирования вторичного напряжения, приведены в табл. 9.

На рис. 25 изображены пистолеты многоэлектродных машин, предназначенные для сварки изделий из листовой низкоуглеродистой стали. Гидравлические пистолеты (рис. 25, *а*) обеспечивают усилия прижатия электродов до 400 кгс при рабочем ходе 25 мм. Пневматические пистолеты (рис. 25, *б*) изготовляют на номинальное рабочее давление сжатого воздуха до 10 кгс/см² с рабочими ходами поршня 25, 36, 63, 80 и 100 мм. Усилия прижатия электродов, развиваемые пневматическими пистолетами при номинальном давлении, зависят от наружного диаметра корпуса:

Усилие прижатия, кгс	275	365	475	720
Наружный диаметр корпуса, мм	51	57	63	76

Конструктивные размеры пистолетов приведены в табл. 10.

Для сварки плоских каркасов из горячекатаной и холоднотянутой проволоки, используемых в производстве железобетонных изделий, серийно выпускаются специализированные многоэлектродные машины.

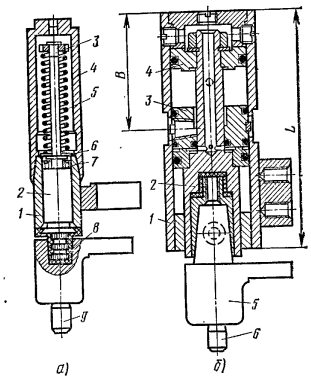
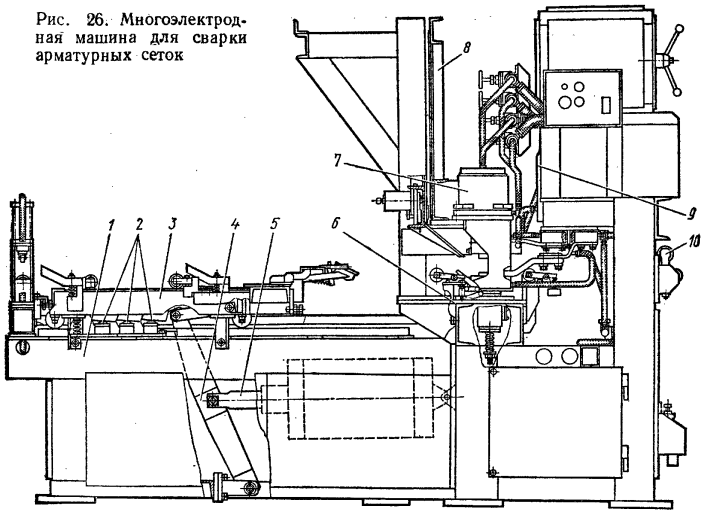


Рис. 25. Пистолеты для многоэлектродных машин:

а — гидравлический; *1* — корпус; *2* — поршень; *3* — штырь; *4* — крышка; *5* — возвратная пружина; *6* — шайба; *7* — манжета; *8* — электрододержатель; *9* — электрод; *б* — пневматический; *1* — корпус; *2* — шток; *3* — разделительная крышка; *4* — поршень; *5* — электрододержатель; *6* — электрод

Рис. 26. Многоэлектродная машина для сварки арматурных сеток



На рис. 26 изображена машина МГМ-32, предназначенная для сварки арматурных сеток из продольных стержней диаметром до 32 мм и поперечных стержней диаметром до 14 мм. На сварной станине *1* установлены пять сварочных трансформаторов *9*, которые с помощью контактных плит и гибких медных шин соединены с шестнадцатью электродными головками *7*, размещенными на горизонтальной балке *6* станины. Продольные стержни подаются в машину через направляющее устройство *10*, а поперечные — укладываются в вертикальный бункер *8*, откуда автоматически по одному подаются в зону сварки. Перемещение продольных стержней с приваренными поперечными стержнями на требуемый шаг производится кареткой *3*, которая через рычаг *4* связана со штоком пневмоцилиндра *5*. Перемещение каретки на требуемый шаг определяется упорами *2*. Рабочий цикл машины задается программным устройством, состоящим из распределительного вала с кулачками, действующими на конечные выключатели и пневмораспределители. Частоту вращения распределительного вала можно регулировать с помощью сменных зубчатых колес. Техническая характеристика некоторых электродных машин для сварки плоских арматурных каркасов приведена в табл. 11.

10. Конструктивные размеры пистолетов, мм

Номинальный ход, мм	$L \pm 1$	B
25	155	71,5
36	177	82,5
63	231	109,5
80	265	126,5
100	305	146,5

11. Техническая характеристика машин для сварки плоских арматурных каркасов

Параметр	МГМ-09	МТМС-10×35	МТМС-14×75-7	МТМ-35	МТМ-32
Число сварочных трансформаторов	2	10	18	4	5
Сварочный ток одного трансформатора, кА	12,5	8	12,5	25,0	20
Длительный вторичный ток, кА	5,6	2,8	3,75	14,0	9,0
Первичная мощность одного трансформатора, кВА	175	35	77	245	200
Усилие, кгс:					
сжатия одного пересечения	490	186	490	980	980
на перемещение сетки	2650	196	3920	590	1960
Ширина свариваемого каркаса, мм	600	2000	800	1200	3000
Диаметр стержней, мм:					
продольных	3—10	3—8	3—12	12—40	12—32
поперечных	3—10	3—6	3—10	6—14	8—14
Габаритные размеры, мм					
высота	1700	1685	1776	1500	1960
ширина	320	2950	5000	3250	3580
длина	2810	2480	3442	230	2740
Масса, кг	3085	3500	8000	4600	5500

Примечание. Напряжение сети (при 50 Гц) 380 В.

МАШИНЫ ДЛЯ РЕЛЬЕФНОЙ СВАРКИ

Серийные машины общего назначения для рельефной сварки по конструкции мало отличаются от аналогичных машин для точечной сварки. Однофазные машины переменного тока с одним сварочным трансформатором выпускают на токи 25 и 40 кА; это машины с пневматическим приводом сжатия и прямолинейным ходом верхнего электрода. От точечных машин они отличаются конструкцией электродов, выполненных в виде двух плит с Т-образными пазами для установки приспособлений и закрепления свариваемых деталей.

Серийные машины для рельефной сварки отличаются от точечных машин меньшими вылетами и повышенной жесткостью корпуса. Кроме этого, выпускаются рельефные машины на сварочные токи 63, 80 и 100 кА с двумя однофазными

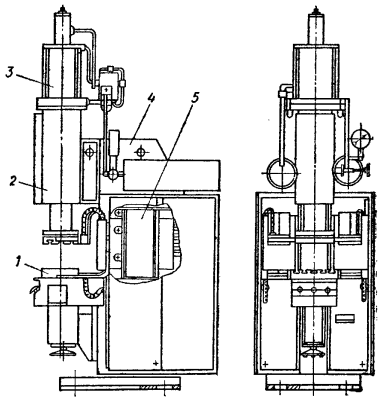


Рис. 27. Машина МР-8001 для рельефной сварки

12. Техническая характеристика машин для рельефной сварки

Параметр	МР-2517	МР-4017	МР-6303	МР-8001	МР-10002
Мощность, кВА	160	368	600	850	1300
Первичный ток, А	345	970	1580	2240	3420
Номинальный сварочный ток, кА	25,0	40,0	63,0	80,0	100,0
Длительный вторичный ток, кА	11,2	18,0	28,0	36,0	45,0
Число ступеней регулирования коэффициента трансформации	6	8	16	16	16
Пределы изменения вторичного напряжения, В	2,6—5,2	5,6—11,2	2,3—9,1	2,5—10	3,25—13,0
Расстояние между электродными плитами, мм:					
минимальное	120	120	50	50	50
максимальное	330	330	450	450	450
Вертикальный ход верхней плиты (рабочий + дополнительный), мм	100	120	200	200	200
Установочное перемещение нижней плиты, мм	—	—	200	200	200
Максимальное усилие сжатия плит, кгс	1568	2350	3140	3140	7850
Быстродействие, ход/мин, при ходе, мм:					
10	150	—	—	—	—
20	—	70	60	60	60
Рекомендуемое число одновременно свариваемых рельефов при толщине деталей, мм:					
0,5+0,5	5	8	—	—	—
1,0+1,0	3	5	5	10	12
2,0+2,0	—	3	5	7	8
2,5+2,5	2	—	—	—	—
4+4	1	2	4	5	6
Габаритные размеры, мм:					
высота	2200	2370	3330	3300	3650
ширина	531	590	1030	1030	1030
длина	1470	1250	1550	1550	1550
Масса, кг	615	1430	3000	3000	3650

Примечание. Вылет (до центра плиты) 300 мм.

трансформаторами *5* (рис. 27), расположенными по обе стороны сварной силовой стойки *4*, выполненной в виде скобы. Шток пневматического привода *3* сжатия соединен с ползуном направляющего устройства *2* на подшипниках качения через блок тарельчатых пружин, что обеспечивает большую подвижность верхней электродной плиты. Предусмотрена возможность перемещения нижней контактной плиты *1* по вертикали, что расширяет технологические возможности машин. В машине предусмотрено как последовательное, так и параллельное соединение первичных обмоток сварочных трансформаторов, благодаря чему в 2 раза увеличивается диапазон регулирования коэффициента трансформации. Техническая характеристика машин для рельефной сварки приведена в табл. 12.

Для герметизации корпусов полупроводниковых приборов и интегральных схем применяют полуавтоматические рельефные конденсаторные машины серии МРК.

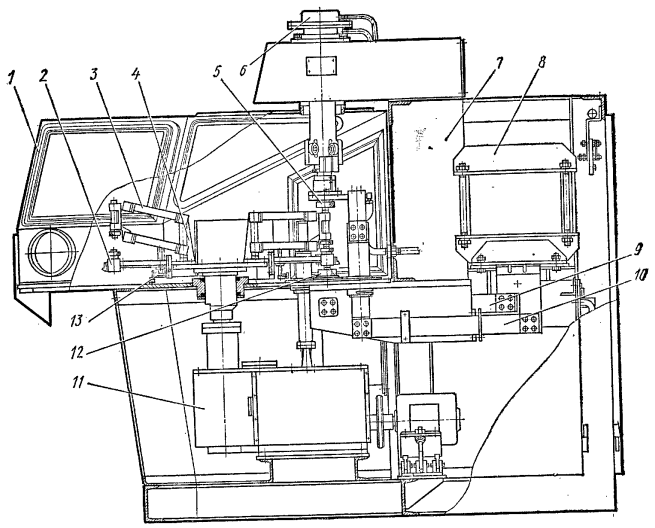


Рис. 28. Конденсаторная машина типа МРК-2001 для рельефной сварки корпусов полупроводниковых приборов

На рис. 28 изображена машина типа МРК-2001, предназначенная для рельефной сварки корпусов полупроводниковых приборов диаметром 3—9 мм. Машина имеет сварной корпус *7*, внутри которого размещен сварочный трансформатор *8*. Токоподводы *9* и *10* соединяют трансформатор с нижним неподвижным электродом *12* и верхним электродом *5*, установленным на штоке диафрагменного привода *6* сжатия электродов. На вертикальном вале электромеханического механизма *11* шагового вращения закреплена планшайба, на которой установлены двенадцать сварочных головок *4*. Верхние промежуточные электрододержатели головок закреплены в шарнирных параллелограммах *3*, которые с помощью вертикальных толкателей с роликом *13* на конце поднимаются в местах загрузки в верхнее положение. Нижние промежуточные электрододержатели *2* подпружинены.

Токоподводы и планшайба с электродными головками размещены внутри скафандра *1*, который обеспечивает возможность сварки в контролируемой атмосфере. В скафандре имеются четыре отверстия с закрепленными на их горловинах резиновыми перчатками с крагами, через которые два рабочих, обслуживающих полуавтомат, вводят руки для ручной установки свариваемых деталей в промежуточные электроды сварочных головок. Сваренные изделия снимаются автоматически съемником. Технические данные машин серии МРК приведены в табл. 13.

13. Техническая характеристика машин серии МРК

Параметр	МРК-2001	МРК-4001	МРК-10001	МРК-16001	МРК-16003
Мощность, потребляемая из сети, кВА:					
длительная	3,7	9	28	41	41
максимальная	8,5	15	44	63	63
Сварочный ток (амплитудное значение), кА	20	40	100	160	160
Запасаемая энергия, Вт·с	1200	3500	16 100	32 000	32 000
Емкость конденсаторов батарей, мкФ	1120	44 100	201 200	404 000	404 000
Усилие сжатия электродов, кгс	39—314	98—490	196—1225	392—1960	686—3920
Суммарная толщина свариваемых деталей из ковара, никеля, стали, мм	От 0,2+0,2 до 0,4+0,4	От 0,2+0,2 до 0,4+0,4	От 0,2+0,2 до 0,4+0,4	От 0,2+0,2 до 0,4+0,4	От 0,2+0,2 до 0,5+0,5
Периметр свариваемых деталей, мм	9—27	22—55	55—100	100—150	100—150
Максимальный темп работы, сварок в час	1800	1200	1200	900	900
Габаритные размеры, мм:					
высота	1690	1905	2060	2310	2405
ширина	1670	1170	1170	1150	1240
длина	2070	1650	2030	2280	2355
Масса, кг	—	3000	41 000	5200	5500

Примечание. Напряженне сети (при 50 Гц) 380 В; напряженне заряда конденсаторов 150—400 В.

МАШИНЫ ДЛЯ ШОВНОЙ СВАРКИ

Машины для шовной сварки позволяют получать прочные и герметичные соединения деталей из различных металлов и сплавов. Шовную сварку применяют в вагоностроении при сварке узлов пассажирских вагонов, в автомобилестроении и сельхозмашиностроении при изготовлении баков для горючего и некоторых других узлов (воздухозаборников, глушителей), в прокатном производстве для соединения концов рулонов лент, изготовления ведер, металлических бочек и во многих других случаях.

Машины общего применения для шовной сварки во многом подобны аналогичным машинам для точечной сварки и отличаются в основном конструкцией электродных частей и наличием привода вращения электродов.

У машин для шовной сварки электроды выполнены в виде роликов, между которыми зажимают свариваемые детали. К роликам подводят сварочный ток. Один или оба ролика соединяют с приводом вращения. Изделие перемещается в процессе сварки роликовыми электродами. Иногда роликовые электроды не имеют принудительного привода вращения и приводятся в движение от перемещающегося свариваемого изделия или перемещением электродных устройств (иногда вместе с машиной) относительно неподвижного изделия.

Некоторые типовые конструкции электродных устройств приведены на рис. 29. В машинах малой и средней мощности чаще всего применяют электродные устройства (рис. 29, *а*), в которых токоведущий вал *3* с закрепленным на нем сварочным роликом *2* вращается во втулке *4*, которая одновременно служит токоподводом и подшипником скольжения. Втулка зажимается в токоведущем

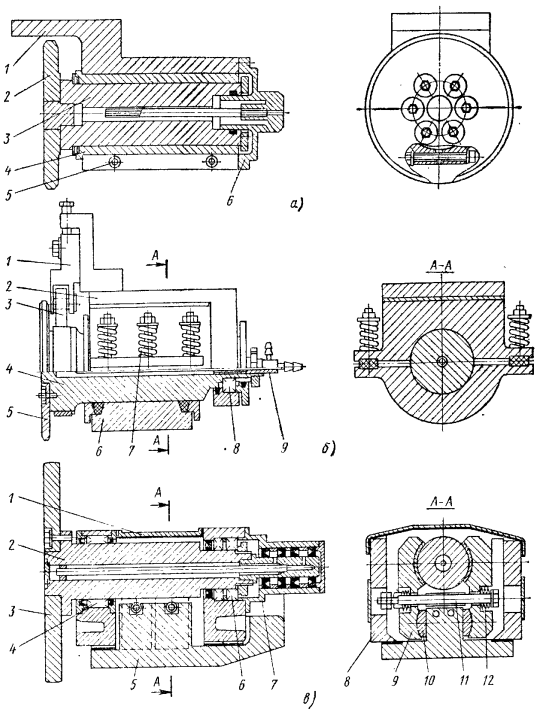


Рис. 29. Электродные головки для шовной сварки

корпусе *1* болтами *5*. Охлаждающая вода подводится к внутренней полости вала *3* через устройство *6*.

На рис. 29, *б* показано электродное устройство, в котором токоведущий вал *4* со сварочным роликом *5* одним концом устанавливается в подшипнике *8*, а вторым концом опирается на подшипники *3*, закрепленные в кронштейне *1*, который крепится к корпусу *2*. Сварочный ток подводится к валу *4* с помощью медной губки *6*, поджимаемой пружинами *7*. Вода в канал вала *4* подводится через устройство *9*. Трущиеся токоведущие части таких электродных головок смазываются специальной смазкой, состоящей из 25% чешуйчатого графита и 75% касторового масла.

В машинах большой мощности применяют электродное устройство, показанное на рис. 29, *в*. Это устройство состоит из корпуса *8* с верхней крышкой *1*, внутри которого в подшипниках *4* и *6* установлен токоведущий вал *2* со сварочным роликом *3*. Сварочный ток подводится к основанию *5* и через неподвижные кон-

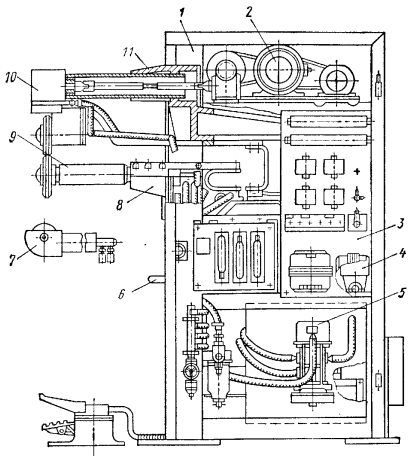


Рис. 30. Машина типа МШ-1001 для шовной сварки: *1* — корпус машины; *2* — привод вращения типа ПМСМ; *3* — электрическое устройство; *4* — пневматический привод сжатия; *5* — пневматическое устройство; *6* — винтовой домкрат для подъема нижнего кронштейна; *7* — электродное устройство для продольной сварки; *8* — нижний кронштейн; *9* — нижнее электродное устройство для поперечной сварки; *10* — верхнее электродное устройство; *11* — верхний рычаг

такты *10* и рычаги *9*, подпружиненные с помощью тяг *11* и тарельчатых пружин *12*, передается на вал *2*. Контактирующие поверхности рычагов *9* армированы накладками из серебра. Через крышку *7* с уплотнительными манжетами осуществляется подвод и отвод воды к валу *2*.

Применение серебряных накладок, жидкой смазки и интенсивное охлаждение всех токоведущих частей обеспечивают малые переходные сопротивления токоподвода (порядка 3—5 мкОм) и его высокую надежность. Принудительное вращение сварочных роликов в большинстве случаев производится от электромеханического привода, состоящего из электродвигателя и системы кинематических передач. В машинах с прерывистым вращением роликовых электродов (машинах для шаговой сварки) наряду с электромеханическими приводами применяют и пневматические приводы с храповыми механизмами или обгонными муфтами. У большинства машин приводным является один (чаще верхний) роликовый электрод, но в некоторых случаях принудительное вращение придают обоим роликам.

В этом случае получение равных окружных скоростей электродов, контактирующих со свариваемым изделием, обеспечивается приводом роликов от шарошек или через конический или цилиндрический дифференциалы.

Шарошка — это стальной ролик с конической проточкой, конфигурация которой соответствует форме контактной поверхности рабочей части сварочного ролика. Валы шарошек кинематически связаны с выходным валом привода вращения, а сами шарошки прижимаются к сварочным роликам с помощью пружин, пневмоцилиндров или гидроцилиндров.

Шарошки не только вращают сварочные ролики с постоянной окружной скоростью, не зависящей от износа роликов, но и производят зачистку и профилирование их рабочих поверхностей, что особенно важно при сварке изделий из металлов с гальваническими покрытиями. Применение шарошек существенно увеличивает износ электродов. В современных машинах для шовной сварки применяют электромеханические приводы вращения с плавным регулированием скорости в диапазоне не менее 1 : 5. Для этого используют приводы типа ПМСМ, состоящие из трехфазного асинхронного электродвигателя и муфты скольжения, или тиристорные приводы с двигателями постоянного тока.

Серийно выпускаются стационарные машины для шовной сварки с питанием силовой части от однофазной сети переменного тока на сварочные токи 10—32 кА, что позволяет сваривать изделия из низкоуглеродистой стали толщиной от 0,5 + + 0,5 до 3 + 3 мм.

14. Техническая характеристика однофазных машин для шовной сварки

Параметр	МШ-1001	МШ-1601	МШ-2001	МШ-3201
Напряжение сети (при 50 Гц), В	220 или 380	220 или 380	380	380
Мощность, кВА	31	75 или 71	127	323
Первичный ток, А	140 или 82	342 или 186	335	850
Сварочный ток, кА	10	16	20	32
Номинальный длительный вторичный ток, кА	7,0	11,25	14	22
Число ступеней регулирования коэффициента трансформации	8	8	6	6
Пределы изменения коэффициента трансформации	62—124 или 109—213	62—124 или 109—213	54—81	35—51
Вылет электродов, мм	400	400	800	800
Усилие сжатия электродов, кгс	245	490	785	1175
Рабочий ход верхнего электрода, мм	Радиальный 30	50	15—70	15—70
Скорость сварки, м/мин	1—5	0,8—4,5	0,4—4,5	0,4—4,5
Диапазон толщин свариваемых деталей из низкоуглеродистой стали, мм	От 0,5+0,5 до 1,2+1,2	От 0,5+0,5 до 1,5+1,5	От 0,5+0,5 до 1,8+1,8	От 0,8+0,8 до 3+3
Мощность электродвигателя привода вращения, кВт	0,27	0,8	1,1	1,1
Номинальный диаметр верхнего ролика, мм	130	200	280	280
Расход охлаждающей воды, л/ч	350	450	1100	2500
Габаритные размеры, мм:				
высота	1405	1770	2295	2360
ширина	520	510	720	720
длина	1270	1455	2395	2395
Масса, кг	526	620	1350	1700

На рис. 30 изображена универсальная машина типа МШ-1001 с радиальным ходом верхнего электрода, предназначенная для сварки при непрерывном протекании сварочного тока, включение и выключение которого производится электромагнитным контактором, установленным в цепи первичной обмотки сварочного трансформатора. Переналадка машины с поперечной на продольную сварку обеспечивается поворотом вокруг вертикальной оси верхней электродной головки *10* и заменой нижнего электродного устройства *9* для поперечной сварки на устройство *7* для продольной сварки. Техническая характеристика машины МШ-1001 и других однофазных машин приведена в табл. 14.

Машина МШ-3201 прессового типа для шовной сварки (рис. 31) состоит из сварного корпуса *1*, на верхнем кронштейне которого установлен пневматический привод *10* сжатия электродов. К ползуну привода прикреплено верхнее электродное устройство *9*. Нижнее электродное устройство *8* размещено в кронштейне *7*, закрепленном на корпусе *1*. Электродные устройства токоподводами соединены с колодками сварочного трансформатора *4*. Принудительное вращение от электромеханического привода *3* типа ПМСМ передается на электродное устройство *9* с помощью карданного вала. Внутри корпуса *1* размещены элементы электрического устройства, регулятор *2* цикла сварки и автоматический выключатель *5*. На верхнем кронштейне корпуса установлены элементы пневматического устройства *11*. Корыто *6* предназначено для слива воды при наружном охлаждении сварочных роликов.

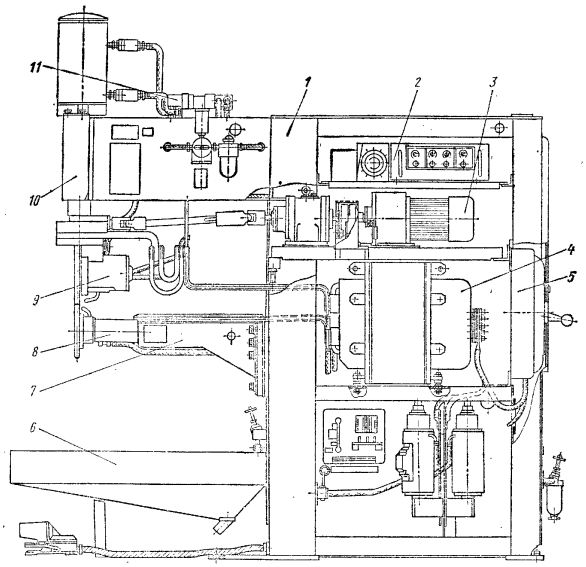


Рис. 31. Машина типа МШ-3201 для шовной сварки

Переналадку машины на сварку продольных швов производят заменой нижнего электродного устройства для поперечной сварки электродным устройством для продольной сварки и поворотом верхнего электродного устройства на 90° вокруг вертикальной оси. Для шовной сварки изделий из легированных сталей и легких сплавов применяются машины с выпрямлением во вторичном контуре на сварочные токи 16, 63 и 120 кА.

На рис. 32 изображена машина типа МШ-12001. Верхний *9* и нижний *5* кронштейны прикреплены к вертикальной силовой стойке *1* корпуса машины. Позади стойки внутри корпуса установлены два трансформатора *3*, ко вторичным виткам которых подсоединены унифицированные выпрямительные блоки *2*, охватывающие стойку *1* с двух сторон. На верхнем кронштейне *9* закреплен пневматический привод *10* сжатия электродов с электромеханическим устройством для дополнительного хода. К фланцу ползуна привода *10* прикреплено верхнее электродное устройство *8* с пневматическим шаговым механизмом вращения. Нижнее электродное устройство *6* установлено на нижнем кронштейне *5*. Внутри корпуса машины размещены элементы электрического устройства *4* и системы охлаждения, а на верхнем кронштейне расположены элементы пневматического устройства *11*. Управление машиной осуществляется от ножной педали или подвесного пульта *7*.

Техническая характеристика машин для шовной сварки постоянным током приведена в табл. 15.

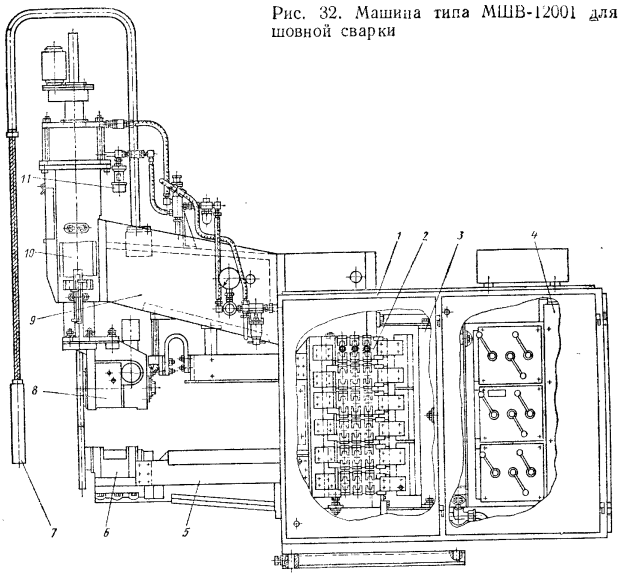


Рис. 32. Машина типа МШВ-12001 для шовной сварки

15. Техническая характеристика машин для шовной сварки постоянным током

Параметр	МШВ-1601	МШВ-6301	МШ-12001
Мощность, кВА	133	533	1100
Номинальный сварочный ток, кА	16	63	120
Номинальный длительный вторичный ток, кА	11,2	36	56
Номинальный линейный первичный ток, А	200	770	1600
Число ступеней регулирования коэффициента трансформации	8	24	8
Вылет электродов, мм	1500	1200	1300
Раствор, мм	500	300	300
Усилие сжатия электродов, кгс	196—1960	196—1960	600—5000
Ход верхнего электрода (рабочий + + дополнительный), мм	20+150	15+110	20+270
Скорость перемещения детали при непрерывном вращении роликов, м/мин	0,2—8,0	0,2—8,0	—
Пределы регулирования темпа работы при шаговом вращении роликов, сварок в минуту	10—250	10—250	25—150

Продолжение табл. 15.

Параметр	МШВ-1601	МШВ-6301	МШ-12001
Рекомендуемые толщины свариваемых деталей, мм:			
из коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и титановых сплавов	От 0,3+0,3 до 3+3	От 0,3+0,3 до 3+3	—
из легких сплавов	—	От 0,5+0,5 до 3+3	От 1,5+1,5 до 5+5
Габаритные размеры, мм:			
высота	2680	2770	3725
ширина	960	1000	1300
длина	3320	3525	3735
Масса, кг	3700	6300	8500

Примечание. Напряжение сети (при 50 Гц) 380 В.

МАШИНЫ ДЛЯ СТЫКОВОЙ СВАРКИ

Для соединения деталей из низкоуглеродистой и легированной сталей, цветных металлов и их сплавов сечением от сотых долей до десятков тысяч квадратных миллиметров широко применяют машины для стыковой контактной сварки сопротивлением и оплавлением.

Машины для стыковой сварки имеют следующие основные узлы: станину, сварочный трансформатор, подвижное и неподвижное зажимные устройства, механизм подачи и осадки, устройство для коммутации сварочного тока и аппаратуру управления.

В зависимости от назначения машины станины имеют горизонтальные, вертикальные или наклонные столы, на которых размещены неподвижные зажимы и каретки (плиты) с подвижными зажимами, перемещающиеся по направляющим с трением скольжения или качения. В некоторых случаях подвижный зажим устанавливают на рычаге, ось которого закреплена на станине; при этом подвижный зажим перемещается по дуге окружности.

На рис. 33 изображены зажимные устройства некоторых типов с эксцентриковыми, пружинными и пневматическими механизмами зажатия. Зажимные устройства предназначены для зажатия свариваемых деталей и подвода к ним сварочного тока. Кроме этого, зажимные устройства должны обеспечить совмещение осей свариваемых деталей, поэтому в машинах с усилием осадки больше 980 кгс предусмотрены устройства для совмещения деталей в двух перпендикулярных направлениях. Усилие зажатия свариваемых деталей должно исключить возможность проскальзывания при осадке, деформацию в местах зажатия и надежный электрический контакт для подвода сварочного тока. В некоторых случаях, при сварке коротких деталей, применяют упоры.

В машинах малой мощности и в машинах, от которых не требуют высокой производительности, применяют рычажные, пружинные, винтовые или эксцентриковые зажимы с ручным приводом. В машинах средней и большой мощности с высокой производительностью применяют быстродействующие пневматические, гидравлические или электромеханические зажимы. Токоподвод к свариваемым деталям в большинстве случаев осуществляется через нижние контактные губки, но иногда (при сварке сопротивлением деталей больших сечений и в других случаях) сварочный ток подводится и к нижним и к верхним губкам. Для увеличения службы контактных губок иногда в машинах применяют две пары губок (одна пара — стальные зажимные, другая пара — для токоподвода). Механизмы привода и осадки предназначены для перемещения подвижных зажимов во время

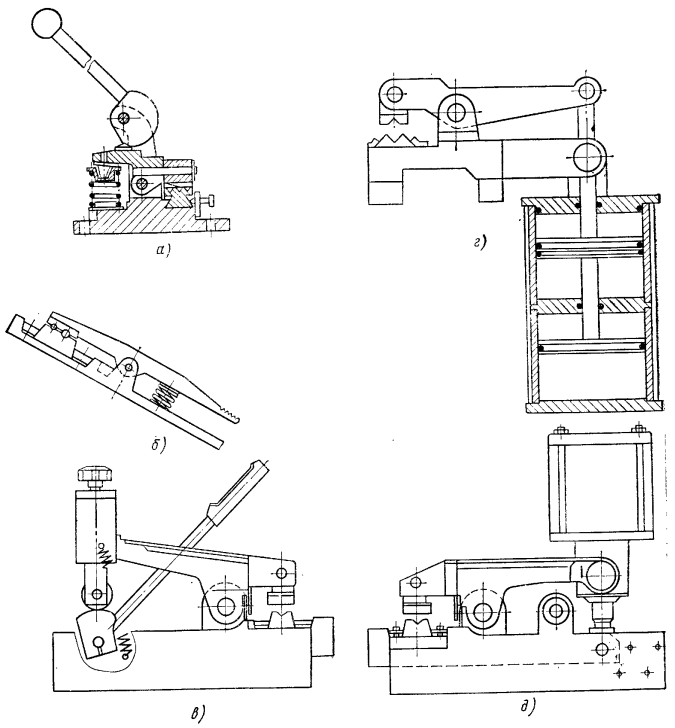


Рис. 33. Устройства зажимные:
а и *б* — пружинные; *в* — эксцентриковые; *г* и *д* — пневматические

подогрева, подачи с необходимыми скоростями и ускорениями во время оплавления и для создания необходимого усилия при осадке.

В машинах малой мощности для сварки сопротивлением обычно применяют пружинные механизмы осадки (рис. 34, *а*). В неавтоматических машинах с небольшой производительностью применяют рычажные (рис. 34, *б*) или винтовые механизмы, в которых скорость перемещения подвижного зажима, а следовательно, и качество сварного соединения зависят от квалификации сварщика.

В стыковых машинах для сварки с непрерывным оплавлением применяют электромеханические приводы перемещения и осадки (рис. 34, *в*). Скорость оплавления регулируется изменением скорости вращения вала приводного электродвигателя или с помощью механического вариатора.

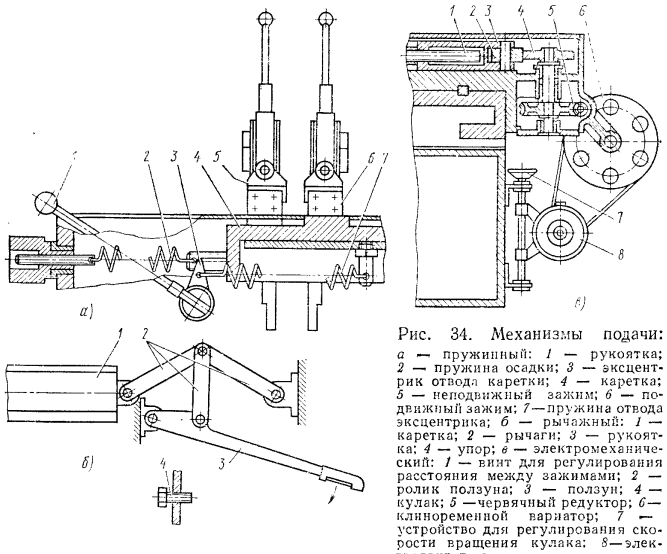


Рис. 34. Механизмы подачи:
а — пружинный: *1* — рукоятка; *2* — пружина осадки; *3* — эксцентрик отвода каретки; *4* — каретка; *5* — неподвижный зажим; *6* — подвижный зажим; *7*—пружина отвода эксцентрика; *б* — рычажный: *1* — каретка; *2* — рычаги; *3* — рукоятка; *4* — упор; *в* — электромеханический: *1* — винт для регулирования расстояния между зажимами; *2* — ролик ползуна; *3* — ползун; *4* — кулак; *5* —червячный редуктор; *6*— клиноременной вариатор; *7* — устройство для регулирования скорости вращения кулака; *8*—электродвигатель

Иногда применяют комбинированные механизмы подачи, где электромеханический привод используют для оплавления, а пневмопривод — для осадки. Гидравлический привод подачи наиболее универсален, так как позволяет получить необходимые усилия осадки и изменения скорости оплавления по заданной программе. Широко применяют также пневматические и пневмогидравлические приводы, обеспечивающие скорости до 200 мм/с.

Для стыковой сварки сопротивлением серийно выпускают машины с номинальными сварочными токами 4, 5 и 8 кА. Это стационарные машины с ручными эксцентриковыми механизмами зажатия и пружинными механизмами подачи. В машине МС-802 предусмотрен дополнительный ручной механизм, позволяющий производить сварку с непрерывным оплавлением и оплавлением с предварительным подогревом.

На рис. 35 изображена машина МС-403 для сварки сопротивлением, а в табл. 16 приведена техническая характеристика этой машины.

Для стыковой сварки изделий из низкоуглеродистой стали выпускают машины типа МС-2008, позволяющие сваривать автоматически методом непрерывного оплавления изделия из низкоуглеродистой стали сечением до 1000 мм² и полуавтоматически с предварительным подогревом изделия сечением до 2000 мм². Механизмы зажатия — пневматические с радиальным ходом верхней губки, механизм подачи — электромеханический.

Для стыковой сварки оплавлением низкоуглеродистых и легированных сталей, а также цветных металлов выпускают серию унифицированных машин на сварочные токи 6,3—25 кА с усилием осадки 800, 2500 и 6300 кгс. Серия состоит из машин четырех типоразмеров. Техническая характеристика машин приведена в табл. 17.

В машинах МСО-0801, МСО-301 и МСО-602 установлены пневматические приводы зажатия и осадки и электромеханические (моторно-кулачковые) приводы оплавления с двигателями постоянного тока. В машинах МСО-301 и МСО-602, кроме этого, предусмотрена возможность сварки оплавлением с предварительным подогревом, который осуществляется при возвратно-поступательных перемещениях подвижного зажима с помощью пневматического привода. Привод подогрева позволяет вести процесс с частотой до 5 Гц. Машины комплектуют шкафами управления. Машина МСО-0802 предназначена для неавтоматической (ручной) сварки оплавлением с предварительным подогревом. Зажимные механизмы и механизм подачи — рычажные.

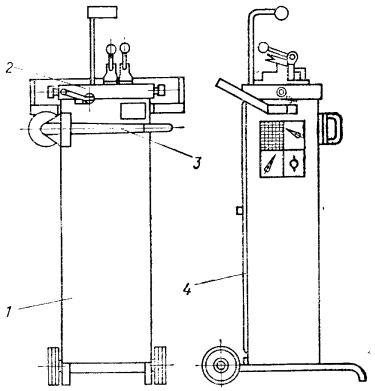


Рис. 35. Машина типа МС-403 для стыковой сварки сопротивлением:
1 — станина; *2* — сварочная головка; *3* — обрезное устройство; *4* — дверь

Машина типа МСО-0801 изображена на рис. 36. Внутри сварного корпуса *2* установлены: сварочный трансформатор *1* с переключателем ступеней, моторно-кулачковый привод *8* оплавления, пневмопривод *7* осадки и

16. Техническая характеристика машин для сварки сопротивлением

Параметр	МС-403	МС-502	МС-802
Номинальный сварочный ток, кА	4,0	5,0	8,0
Номинальный длительный вторичный ток, кА	0,44	1,4	2,8
Номинальная мощность, кВА	7,2	12,2	25
Первичный ток, А	33 или 19	54 или 31	110 или 64
Максимальное усилие, кгс:			
зажатия	63	300	2500
осадки	16	63	2000
Рекомендуемые диаметры свариваемых изделий, мм:			
из стали	От 0,5 до 6	От 3 до 10	От 5 до 12,5
из меди	» 0,4 » 4,5	» 3 » 9	» 5 » 12,5
из алюминия	» 0,5 » 4,5	» 4 » 10	» 5 » 12,5
			При сварке оплавлением сталь от 5 до 12,5
Производительность, сварок в час	240	200	150
Габаритные размеры, мм:			
высота	1300	1180	1175
ширина	520	955	1030
длина	560	1150	2070
Масса, кг	75	185	340

Примечание. Напряжение сети (при 50 Гц) 220 или 380 В.

17. Техническая характеристика машин для стыковой сварки оплавлением

Параметр	МСО-0801	МСО-0802	МСО-301	МСО-602
Номинальный длительный вторичный ток, кА	5,0		12,5	12,5
Номинальный сварочный ток, кА	6,3		18,0	25,0
Номинальная потребляемая мощность, кВА	24		100	190
Номинальное усилие, кгс:				
зажатия	1600		5000	12 500
осадки	800		2500	6 300
Диапазон свариваемых сечений, мм²:				
из низкоуглеродистых сталей	50—160		100—800	200—2000
из легированных сталей	50—100		100—300	200—800
из цветных металлов	30—50		50—150	100—400
Максимальная производительность при сварке низкоуглеродистой стали, сварок в час	600	150	350	250
Габаритные размеры, мм:				
высота	1450	1440	1240	1367
длина	860	1000	2000	2255
ширина	1085	1080	900	1110
Масса, кг	1000	1000	1700	2500

Примечание. Напряжение сети (при 50 Гц) 380 В.

элементы электрического устройства. Сверху на станине закреплен неподвижный зажим *4* и установлены катки, по которым перемещается каретка с подвижным зажимом *3*. Усилия от моторно-кулачкового привода *8* и пневмопривода осадки передаются через рычаг *6* и тягу *5*.

Стационарная машина К-190П (рис. 37) предназначена для стыковой сварки рельсов (Р-18—Р-75) и профильной стали с площадью сечения до 10 000 мм² методом непрерывного оплавления. Машина состоит из станины *1* с неподвижным зажимным устройством *2*, внутри корпуса которого размещены верхний и нижний сварочные трансформаторы и зажимные губки с гидроприводом сжатия. Подвижное зажимное устройство *5* перемещается с помощью гидроцилиндров *7*. Внутри корпуса этого устройства размещены зажимные губки, которые гибкими медными шинами соединены со сварочными трансформаторами, и гидропривод сжатия. Свариваемые детали устанавливают с помощью подъемных роликов *3*. Свариваемые детали центрируют с помощью двух электромеханических устройств *4* и *9*; первое регулирует положение зажимных губок неподвижного зажимного устройства по горизонтали; второе регулирует губки в подвижном устройстве по вертикали.

Перемещением подвижного зажима управляет гидроследящая система, состоящая из гидрозолотника *6*, корпус которого соединен с зажимным устройством *5*, электродвигателя с червячным редуктором *8* и электромагнита. Вращательное движение вала электродвигателя преобразуется в поступательное движение штока золотника *6*, с которым также соединен и электромагнит, перемещающий этот шток во время осадки. Техническая характеристика машины К-190П приведена в табл. 18.

Машина К-617 предназначена для контактной стыковой сварки импульсным оплавлением кольцевых и прямолинейных деталей из низкоуглеродистой, аустенитной и жаропрочных сталей и алюминиевомагниевых сплавов. Все механизмы машины имеют гидравлический привод. Предусмотрена центровка свариваемых деталей в зажатом состоянии. Для уменьшения потребляемой мощности в машине установлено устройство для сварки импульсным оплавлением, которое обеспечивает работу машины с частотой 5—15 Гц и амплитудой колебаний 0,5—1,2 мм. Машина комплектуется шкафом управления. Техническая характеристика машины приведена в табл. 18.

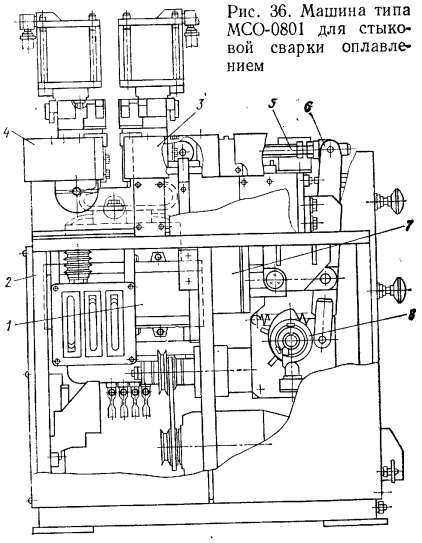


Рис. 36. Машина типа МСО-0801 для стыковой сварки оплавлением

Машина К-355 предназначена для контактной стыковой сварки непрерывным оплавлением рельсов типа Р-50, Р-65 и Р-75 непосредственно на железнодорожных путях. Ее можно использовать и в стационарных условиях. Привод всех механизмов машины — гидравлический. Механизм зажатия выполнен в виде двух клещевых зажимов, расположенных на общей оси. Оплавление и осадка осуществляются двумя цилиндрами, работающими параллельно. Машина комплектуется гидростанцией, шкафом управления, силовым шкафом, автотрансформатором и дизель-электростанцией. Техническая характеристика машины приведена в табл. 18.

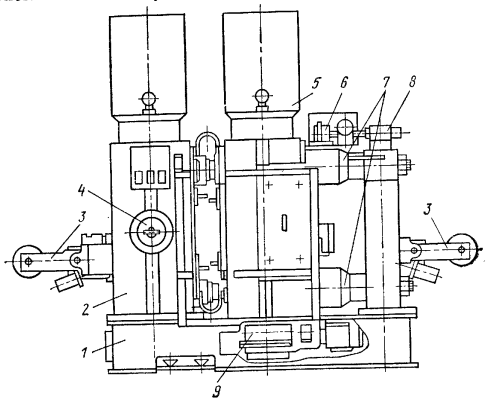


Рис. 37. Машина типа К-190П для стыковой сварки оплавлением

18. Техническая характеристика универсальных машин для стыковой сварки

Параметр	К-190П	К-355	К-617	АСГЦ-150-3
Мощность, кВА	150	150	150	100
Номинальный длительный вторичный ток, кА	16,0	14,0	9,0	11,2
Номинальные усилия, кгс:				
зажатия	100 000	125 000	32 000	3 000
осадки	50 000	45 000	16 000	12 000
Скорость, мм/с:				
оплавления	0,15—1,5	0,22—1,0	0,12—4,0	
осадки	До 20	До 12	До 30	До 30
Площадь свариваемых сечений, мм²	До 10 000	От 3 000 до 10 000	От 1000 до 4000	380
Габаритные размеры, мм:				
высота	2 500	1140	1450	2550
ширина	1 080	1050	1850	2150
длина	3 200	1810	1600	3130
Масса, кг	7 800	2375	3660	4850

Примечание. Напряжение сети (при 50 Гц) 380 В.

Цепесварочный автомат типа АСГЦ-150-3 предназначен для стыковой сварки оплавлением с прерывистым подогревом звеньев цепей из низколегированных и легированных сталей сечением до 380 мм², а также для снятия грата, образующегося при сварке. Все механизмы автомата имеют гидравлические приводы. Автомат имеет станину, на которой закреплены неподвижный зажим, каретка с подвижным зажимом, механизм подачи цепи, гратосниматель, привод оплавления и осадки, гидравлическая насосная станция и другие механизмы.

Свариваемые звенья с помощью механизма подачи цепи подаются к зажимным устройствам, которые зажимают и сваривают очередное звено. Затем гратосниматель срезает грат, после чего цепь автоматически перемещается и в зону сварки подается следующее звено.

Техническая характеристика автомата приведена в табл. 18.

АППАРАТУРА УПРАВЛЕНИЯ

Аппаратура управления является важнейшей частью современного оборудования для электрической контактной сварки. Управление циклом работы машин, включение, выключение и регулирование сварочного тока, преобразование его частоты — не полный перечень тех функций, которые она выполняет. От аппаратуры управления зависит широта технологических возможностей машины, четкость отработки заданных режимов сварки. Вместе с тем аппаратура управления является наиболее сложной частью сварочного оборудования. Логические и функциональные преобразования, которые ею осуществляются требуют большого числа электронных, ионных и полупроводниковых приборов и связанных с ними других элементов. В машинах среднего и высокого класса стоимость аппаратуры составляет 20—60% стоимости выпускаемого оборудования. Уровень сложности аппаратуры зависит от принципа работы машин, которыми она управляет. Наиболее сложной поэтому является аппаратура машин с выпрямлением во вторичном контуре.

В количественном отношении преобладает аппаратура управления однофазными машинами (свыше 95% общего выпуска). Это регуляторы времени, прерыватели, вентильные контакторы. Разница между регуляторами времени и прерывателями постепенно стирается. Регуляторы цикла сварки регулируют ток и стабилизируют его при колебаниях напряжения сети.

Аппаратура второго поколения построена на тиристорах, транзисторах и типовых транзисторных элементах. С их помощью реализуется большинство требуемых схем и функциональных узлов, обладающих высоким быстродействием и надежностью. Применение типовых элементов сокращает время разработки аппаратуры и упрощает процесс ее промышленного изготовления. Удобство работы с типовыми элементами состоит также в том, что они не требуют настройки в процессе изготовления и ухода во время эксплуатации. Ремонт аппаратуры сводится к замене неисправного элемента исправным.

Аппаратура третьего поколения своему появлению обязана интегральным микросхемам, которые позволяют значительно расширить возможности аппаратуры, повысить точность отработки регулируемых параметров, сократить объем аппаратуры, отказаться от шкафов управления и сохранить, а может быть, и уменьшить стоимость изделий.

ВКЛЮЧЕНИЕ И РЕГУЛИРОВАНИЕ ТОКА

Сварочный трансформатор контактной машины включается со стороны первичной обмотки. При этом отсутствует ток холостого хода трансформатора вне времени сварки и облегчаются условия коммутации.

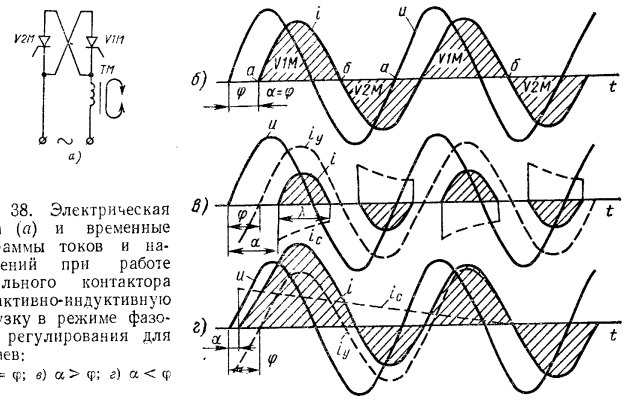


Рис. 38. Электрическая схема (*а*) и временные диаграммы токов и напряжений при работе вентильного контактора на активно-индуктивную нагрузку в режиме фазового регулирования для случаев:
б) $\alpha = \varphi$; *в*) $\alpha > \varphi$; *г*) $\alpha < \varphi$

Для включения и отключения сварочного трансформатора используются управляемые вентили: игнитроны или тиристоры. Два встречно-параллельно соединенных управляемых вентиля (рис. 38, *а*), последовательно включаемые между первичной обмоткой трансформатора и питающей сетью, при соответствующем управлении выполняют функции однофазного включателя, который по аналогии получил название вентильный (игнитронный или тиристорный) контактор. На рис. 38, *б* приведена временная диаграмма прохождения тока через индуктивно-активную нагрузку, которой является контактная машина. Ток, проходящий через первичную обмотку трансформатора, отстает от *u* сети на угол сдвига фаз φ. Этот угол определяется соотношением активной и индуктивной составляющих полного сопротивления. Если в точках *а* включить вентиль *V1M*, анод которого находится в этот полупериод напряжения под поло-

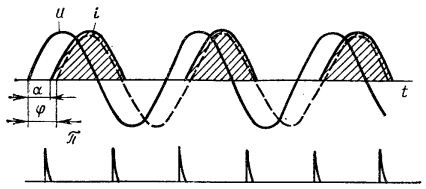


Рис. 39. Временная диаграмма, поясняющая возникновение «полуволнового эффекта»

жительным потенциалом, а в точках *б* — вентиль *V2M*, способный проводить только в противоположные полуволны напряжения, то в нагрузке возникает переменный ток, который будет существовать все время, пока подается команда на включение вентилей. Снятие команды исключает возможность включения очередного вентиля и тем самым ограничивает длительность импульса сварочного тока. Управляемый вентиль (типа игнитрон, тиратрон или тиристор) выключается автоматически с уменьшением тока практически до нуля, чем обеспечивается выключение цепи машины без перенапряжений. Очередность работы вентилей в контакторе также соблюдается автоматически, потому что включение непроводящего вентиля становится возможным только тогда, когда выключится предыдущий и между анодом и катодом ждущего вентиля восстановится напряжение питающей сети. Благодаря возможности фазового изменения момента включения управляемого вентиля вентильный контактор позволяет плавно регулировать действующий ток.

С увеличением угла включения вентилей α (рис. 38, *в*) автоматически уменьшается их угол λ проводимости, а чем меньше угол проводимости, тем меньше действующий ток через нагрузку.

На рис. 38 приведены также временные диаграммы токов и напряжений при фазовом регулировании. Если $\alpha = \varphi$ (рис. 38, *б*), то переходный процесс отсутствует. Ток принимает сразу свое наибольшее установившееся значение; такое включение называют полнофазным. При $\alpha > \varphi$ (рис. 38, *в*) ток в каждой полуволне определяется разностью существующих во время проводимости вентиля установившегося i_y и свободного i_c токов. Поэтому снижается наибольшее

19. Угол проводимости λ (α, φ) и ток нагрузки I^* (α, φ)

α, электрические градусы	cos φ = 1		cos φ = 0,9		cos φ = 0,8		cos φ = 0,7		cos φ = 0,6	
	λ, градусы	I^*	λ, градусы	I^*	λ, градусы	I^*	λ, градусы	I^*	λ, градусы	I^*
0	180,00	1,0	—	—	—	—	—	—	—	—
30	150,00	0,985	175,87	0,99	—	—	—	—	—	—
40	140,00	0,967	165,84	0,959	176,85	0,987	—	—	—	—
50	130,00	0,939	155,81	0,915	166,56	0,935	175,33	0,972	—	—
60	120,00	0,898	145,70	0,858	156,26	0,871	164,77	0,901	172,47	0,944
70	110,00	0,845	135,58	0,790	145,77	0,795	153,84	0,816	161,10	0,851
80	100,00	0,781	125,37	0,712	135,22	0,710	142,74	0,723	149,46	0,749
90	90,0	0,708	115,03	0,625	124,34	0,616	131,37	0,624	137,46	0,641
100	80,0	0,625	104,58	0,532	113,20	0,518	119,55	0,520	124,93	0,530
110	70,0	0,536	93,92	0,437	101,74	0,419	107,29	0,416	111,99	0,420
120	60,0	0,443	82,97	0,341	89,83	0,322	94,57	0,317	98,43	0,316
130	50,0	0,348	71,66	0,250	77,38	0,231	84,24	0,223	84,28	0,221
140	40,0	0,255	59,75	0,167	64,27	0,151	67,16	0,143	69,40	0,140
150	30,0	0,171	47,13	0,096	50,31	0,084	52,23	0,078	53,69	0,076
160	20,0	0,095	33,43	0,042	35,22	0,035	36,21	0,029	37,01	0,031
170	10,0	0,039	18,12	0,012	18,66	0,007	18,34	—	19,20	0,006
180	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

значение тока и появляются разрывы между его полуволнами. Действующее значение тока уменьшается и тем сильнее, чем больше угол α.

Случай включения с $\alpha < \varphi$ может возникнуть либо при асинхронном включении, когда контактор управляется с помощью реле, либо при неправильной установке импульсов управления. При релейном управлении возникает начальная асимметрия полуволн тока (рис. 38, *г*), которая в дальнейшем ликвидируется. Существенно меняется форма тока при управлении вентильного контактора импульсами малой длительности. Включение одного из вентилей с углом $\alpha < \varphi$ не позволит другому вентилю включиться в момент появления импульса управления (рис. 39), так как продолжается проводимость первого вентиля; когда возникает принципиальная возможность включения второго вентиля, импульса управления уже не будет. Вентильный контактор начинает работать как однополупериодный выпрямитель. Такой режим работы получил название «полуволновой эффект», который представляет собой наиболее тяжелый случай асимметричной работы вентильного контактора на первичную обмотку сварочного трансформатора. Наиболее эффективной мерой предупреждения полуволнового эффекта считается увеличение длительности управляющих импульсов.

Действующий ток, регулируемый изменением угла включения вентилей,

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{\lambda}{\pi} - \frac{\sin\lambda\cos(2\alpha + \lambda + \varphi)}{\pi\cos\varphi}};$$

это выражение удобно представить в виде

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} I^* = I_y I^*,$$

где I_y — действующий установившийся синусоидальный ток; I^* — действующий регулируемый ток в относительных единицах, определяемый только соотношением угловых параметров при фазовом управлении.

В табл. 19 приведены угол λ проводимости и ток I^* нагрузки в зависимости от угла α регулирования для различных параметров φ. На рис. 40 изображены регулировочные кривые $I^* = f(\alpha, \varphi)$ вентильного контактора.

cos φ = 0,5		cos φ = 0,4		cos φ = 0,3		cos φ = 0,2		cos φ = 0,1		cos φ = 0	
λ, градусы	I^*	λ, градусы	I^*	λ, градусы	I^*	λ, градусы	I^*	λ, градусы	I^*	λ, градусы	I^*
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
180,0	1,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
168,17	0,897	175,51	0,958	—	—	—	—	—	—	—	—
155,90	0,785	162,53	0,833	169,60	0,895	177,66	0,975	—	—	—	—
143,28	0,668	149,01	0,703	155,19	0,750	162,08	0,812	169,96	0,891	180,0	1,0
130,03	0,548	135,04	0,573	140,24	0,607	145,88	0,651	152,23	0,707	160,0	0,883
116,24	0,430	120,45	0,447	124,66	0,469	129,22	0,50	134,15	0,535	140,0	0,757
101,92	0,320	105,26	0,330	108,63	0,344	112,03	0,36	115,79	0,385	120,0	0,625
86,97	0,222	89,47	0,226	91,98	0,234	94,49	0,244	97,08	0,253	100,0	0,492
71,32	0,139	73,09	0,141	74,80	0,145	76,40	0,143	78,19	0,159	80,0	0,362
54,90	0,074	55,99	0,075	56,96	0,072	57,96	0,073	58,95	0,070	60,0	0,241
37,64	0,032	38,16	0,030	38,63	0,030	39,11	0,036	39,52	0,032	40,0	0,13
19,20	0,007	19,55	0,014	19,64	0,001	19,78	0,010	19,91	0,023	20,0	0,045
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

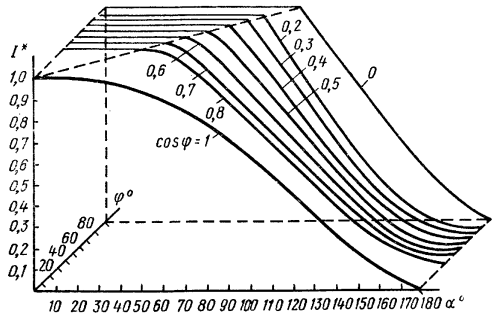


Рис. 40. Регулировочные кривые $I^* = f(\alpha, \varphi)$

В целом регулировочные характеристики нелинейны. Однако на рабочем участке они могут быть с точностью до 2% аппроксимированы прямыми, подчиняющимися выражению $I^* = B_1\alpha + B_0$, где B_0 и B_1 — постоянные коэффициенты; α — угол регулирования, радианы.

В табл. 20 приведены величины B_0 и B_1 для разных значений cos φ нагрузки и диапазона изменения $0{,}95 \geqslant I^* \geqslant 0{,}3$. Зная коэффициенты B_0 и B_1, можно определить α для требуемого изменения сварочного тока с точностью 1—2%.

20. Значения B_0 и B_1

cos φ	B_0	B_1	cos φ	B_0	B_1
0,2	2,15	—0,853	0,6	1,58	—0,603
0,3	2,01	—0,797	0,7	1,49	—0,556
0,4	1,84	—0,719	0,8	1,44	—0,534
0,5	1,72	—0,666			

ТИРИСТОРНЫЕ КОНТАКТОРЫ

Большинство однофазных машин переменного тока оснащено тиристорными контакторами. При этом достигается значительный технико-экономический эффект вследствие упрощения схем включения тиристоров, уменьшения рассеиваемых энергетических потерь, повышения стабильности работы и уменьшения габаритных размеров. Игнитронные контакторы сейчас устанавливают только в машины большой мощности.

Контакторы на тиристорах различных типоразмеров различаются коммутируемым током. Их техническая характеристика приведена в табл. 21. Контакторы следует выбирать из условия, чтобы первичный ток контактной машины во время сварки на номинальной ступени, с учетом короткого замыкания электродов, при полнофазном включении тока не превосходил номинальный ток контактора. Все рассматриваемые контакторы имеют импульсное управление и могут работать только с регуляторами, оснащенными фазоимпульсными выходными устройствами. Из-за малой теплоемкости тиристоры не могут работать с номинальными токами без дополнительного отвода тепла. В контактных машинах принято

21. Техническая характеристика тиристорных контакторов

Параметр	КТ-1У4	КТ-02У4	КТ-03У4	КТ-04У4
Напряжение сети (при 50 Гц), В	380	220	380	380
Номинальный ток, А, при:				
ПВ-50%	200	800/700 *1	800/700 *1	1300/1200 *1
ПВ-20%	250	850/750	850/750	1400/1300
ПВ-5%	—	1000/850	1000/850	1600/1500
Максимальный ток при ПВ-20%, А	280	1100/900	1100/900	1800/1600
Тип тиристора	ТВ-200	ТВ-500	ТВ-500	ТВ-800
Ток импульсов управления, А	2,0	0,4	0,4	0,4
Номинальный расход охлаждающей воды, л/мин	2	2	2	6
Габаритные размеры, мм:				
ширина	320	325/420 *2	375/420 *2	375/420 *2
высота	300	430/650	470/650	470/650
длина	260	260/340	260/340	260/340
Масса, кг	6,9	17,0/30,0 *2	17,0/30,0 *2	17,0/30,0 *2

*1 В числителе указан номинальный ток при длительности включения не более 0,5 с, в знаменателе — при длительности включения до 20 с.
*2 В знаменателе указаны размеры и масса контакторов закрытого исполнения.

Примечание. Температура охлаждающей воды не более 40° С; длительность импульса управления не менее 100 мкс; максимальное импульсное напряжение 900 В.

обязательное водяное охлаждение тиристоров. Контроль за расходом воды осуществляется с помощью струйного гидрореле типа РГС-2, установленного на сливе системы охлаждения. Электроконтакты гидрореле, соединенные с регулятором времени, блокируют включение сварочного тока при отсутствии требуемого расхода воды.

На рис. 41 представлена схема тиристорного контактора КТ-1У4. Импульсы управления с частотой 100 Гц поступают на тиристоры *V1M* и *V2M*, но включается только тот, анод которого находится под положительным потенциалом. Цепочка *R1*, *R2*, *R3*, *C1* ограничивает скорость восстановления напряжения на тиристорах во время коммутации тока с целью предотвращения возможности самопроизвольного включения, а также снижает величину возможных импульсов перенапряжений.

Схема контакторов КТ-02У4, КТ-03У4, КТ-04У4 более сложна (рис. 42). Для включения силовых тиристоров *V2M* и *V1M* используют промежуточный усили-

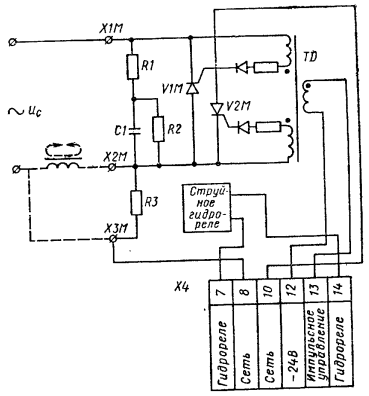


Рис. 41. Принципиальная электрическая схема тиристорного контактора КТ-1У4

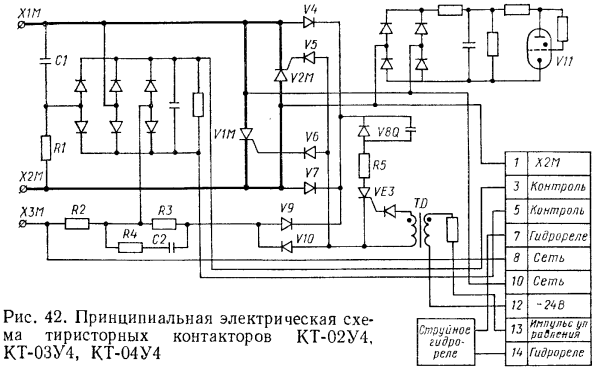


Рис. 42. Принципиальная электрическая схема тиристорных контакторов КТ-02У4, КТ-03У4, КТ-04У4

тельный элемент — десятиамперный тиристор *VE3*. На его управляющий электрод поступают импульсы 100 Гц от регулятора времени. С помощью диодов *V4—V7* происходит распределение тока по управляющим электродам силовых тиристоров. Например, если анод *V1M* положителен, то ток включения замыкается по цепи *X1M—V4—V8Q—R5—VE3—V6* — управляющий электрод *V1M—X2M*. Включается тиристор *V1M*. Аналогично работает такая же ветвь для включения тиристора *V2M*, но ток замыкается через диоды *V7* и *V5*. Ток в цепи управляющих электродов (по принципу работы зависимой схемы) прекращается сразу после перехода силовых тиристоров в проводящее состояние, так как исчезает источник напряжения. Схема контактора исключает возможность возникновения «полуволнового» эффекта. Если импульс управления придет раньше, чем восстановится напряжение на силовых тиристорах, то тиристор *VE3* все равно включится, так как источником питания для него явится сетевое напряжение между *X1M* и *X3M*, а цепь тока замкнется через диоды *V9* или *V10*, резисторы *R2*, *R4* и конденсатор *C2*. Как только проводящий силовой тиристор выключится, цепь управления автоматически переключится на противоположный тиристор, потенциал анода которого в этот полупериод становится положительным относительно катода. По-существу, схема обеспечивает расширение длительности управляющего импульса, что является наиболее действенным средством против «полуволнового» эффекта.

Для визуального контроля настройки режима полнофазного включения в контакторе имеется схема сигнализации на базе тиратрона *V11* (типа МТХ-90) с холодным катодом. Полному отсутствию свечения соответствует полнофазное состояние, так как напряжение на тиристорах в момент их проводимости отсутствует.

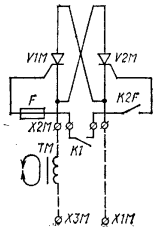


Рис. 43. Принципиальная электрическая схема тиристорного контактора с асинхронным включением; *K2F* — контакт гидрореле

В некоторых машинах с радиальным приводом электродов используют тиристорный контактор с асинхронным включением. Такой контактор в установившемся режиме обеспечивает полнофазное включение тока, но не исключает появления начальной несимметричности его полуволн. Электрическая схема контактора чрезвычайно проста (рис. 43). Управление осуществляется с помощью контакта *K1* реле, включенного между управляющими электродами обоих тиристоров.

УСТРОЙСТВА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЦИКЛОМ СВАРКИ КОНТАКТНЫХ МАШИН

Последовательность действия механизмов машины для точечной контактной сварки определяется регулятором времени или регулятором цикла сварки (РЦС), которые являются либо самостоятельными устройствами, либо входят в виде отдельного функционального блока в состав схемы шкафов управления сварочными машинами. Все РЦС работают по определенной, заранее установленной программе. Существуют регуляторы, в которых число регулируемых интервалов и их последовательность не меняется; это однопрограммные регуляторы. Они обеспечивают один и тот же порядок включения механизмов машины, позволяя лишь независимо регулировать время отдельных выдержек.

В более сложных регуляторах порядок следования интервалов и их число может изменяться в зависимости от выбора программы. Такие многопрограммные РЦС позволяют осуществлять сварочные циклы с различными вариантами изменения усилия на электродах или формы сварочного тока.

Все современные регуляторы отличаются высокой точностью как отсчета интервала «Сварка», так и других регулируемых интервалов времени. Такие регуляторы построены по принципу счета периодов питающего напряжения или используют RC-цепочки с устройствами синхронизации. Благодаря синхронизации обеспечивается основное симметрирование тока. Последний включается всегда с полуволны одной полярности, а заканчивается противоположной полуволной.

Требования высокой производительности не позволяют использовать в регуляторах электромагнитные реле в качестве связующих и исполнительных элементов. Передача информации внутри регулятора осуществляется с помощью бесконтактных элементов. Исполнителями команд также являются бесконтактные устройства. В частности, включением пневмоэлектрических клапанов управляют транзисторные или тиристорные усилители; игнитронные контакторы включаются через тиристорные узлы поджигания, а тиристорные контакторы — через выходные усилители регуляторов. Применение бесконтактных исполнительных элементов позволило расширить функциональные возможности регуляторов. Большинство выпускаемых РЦС позволяют регулировать сварочный ток. Все регуляторы обеспечивают отработку полного цикла сварки независимо от момента отключения педали и допускают возможность работы в автоматически повторяющемся режиме. Техническая характеристика наиболее известных регуляторов времени, в том числе и выпускавшихся реле, приведена в табл. 22.

Регулятор РЦС-403 является бесконтактным аналогом широко известного регулятора РВЭ-7. Он имеет четыре независимо регулируемые выдержки времени: «Сжатие», «Сварка», «Проковка» и «Пауза» и снабжен транзисторными усилителями для включения электропневматического клапана привода усилия и фазоимпульсного управления тиристорным контактором или тиристорным блоком поджигания игнитронов.

Схема регулятора (рис. 44) полностью выполнена на транзисторных элементах серии Логика-Т. Для понимания ее работы необходимо знать некоторые особенности работы логических элементов.

1. Уровню сигнала минус 4—8 В соответствует логическая 1. Логический 0 означает практическое отсутствие сигнала.

2. Элементы *D3, D5, D7, D10* — маломощные триггеры. Возможны два устойчивых состояния. Если *1* на выходе *7*, то на выходе *8—0* и наоборот. Подача *1* на потенциальные входы *9* или *10* вызывает появление *1* соответственно на выходах *8* или *7*. Положительный сигнал на входе *9* приводит к появлению *1* на вы-

22. Техническая характеристика регуляторов времени

Параметр	РЦС-301У4	РЦС-403У4	РЦС-502У4	БУ-5ИПС	БУС	РВЭ-7-1А	РЦС-4	РВД-200	РЦРТ-5	РВТ-100М-1	РВТУ-200М
Число отрабатываемых интервалов, ед.	3	4	5	6	7	4	4	5	5	5	9
Допустимые колебания напряжения сети, %	+5 −15	+10 −15	+10 −15	+5 −15	+5 −15	±10	±10	+5 −10	+5 −10	+10 −15	+10 −15
Элементная база	Транзисторные логические элементы «Логика-Т»					Электронные реле		Декатроны	Ферритдиодные ячейки	Маломощные тиристоры	
Принцип отсчета интервалов	Аналоговый с синхронизацией			Цифровой		Аналоговый	Аналоговый с синхронизацией	Цифровой		Аналоговый с синхронизацией	
Пределы регулирования интервала, с: сварка	0,06—3,5 дискретно 0,1—1,0 плавно	0,02—2,0 дискретно 0,06—1,4 плавно	0,02—2,0 дискретно 0,02—2,0 дискретно	0,02—2,0 дискретно 0,02—2,0 *1 дискретно	0,02—2,0 дискретно 0,02—2,0 *1 дискретно	0,03—6,75 плавно 0,03—1,35 плавно	0,04—6,0 плавно 0,04—1,2 плавно	0,02—4,0 дискретно 0,02—4,0 *1 дискретно	0,02—4,0 дискретно 0,02—2,0 дискретно	0,02—0,4 дискретно 0,02—0,4 *1 дискретно	0,02—4,0 дискретно 0,02—4,0 дискретно
другие											
Исполнительные устройства: включения сварочного тока	Бесконтактное фазоимпульсное устройство					Контактное реле		Бесконтактное фазоимпульсное устройство			
включения клапана	Бесконтактный транзисторно тиристорный ключ					Контактное реле		Бесконтактный транзисторно-тиристорный ключ			
Режим включения сварочного тока	Синхронный					Асинхронный	Синхронный	Синхронный			
Глубина регулирования сварочного тока, % I ном	60—100	40—100	40—100	40—100	40—100	—	—	30—100	30—100	50—100	30—100
Стабилизация сварочного тока при колебаниях напряжения сети, %	—	—	±3	±3	±5	—	—	±3	±2	—	±3
Модуляция сварочного тока, с	—	—	Нарастание, спад, 0,4	Нарастание, 0,3	Нарастание, 0,3	—	—	Нарастание, 0,2	Нарастание, 0,2	—	Нарастание, 0,1
Наибольшая производительность, цикл/мин	200	300	600	—	—	150	200	750	1000	750	—
Габаритные размеры, мм: ширина	300	345	550	415	490	325	475	180	180	184	225
высота	185	158	180	159	200	395	235	340	340	244	400
длина	280	235	320	490	345	150	305	275	230	384	295
Масса, кг	10	15	27	25	21	15,3	19	12	10	8	10

*1 Кроме предварительного сжатия.

ходе *7*. Если на импульсный вход *1* или *2* подать *1*, а затем снять ее, т. е. заменить на 0, то на соответствующих выходах *7* или *8* установится *1*.

3. Элементы *D4*, *D8*, *D9*, *D11*, *D12* — транзисторная задержка. Если на любой из входов *1* или *5* подать *1*, то через заданное внешней цепочкой *RC* время на выходе *9* *0* сменится *1*. Ноли на всех входах всегда вызывают *0* на выходе.

4. Элемент *D6* — три схемы И. Только наличие *1* на всех входах *2*, *4*, *6*, *8* или *5*, *7* или *1*, *3* отдельных схем И вызывает появление *1* на соответствующих выходах *10*, *11*, *9*. Если на любом из входов будет *0*, то на выходе схемы также будет *0*. Свободный вход работе схемы И не мешает. Выходы групп и элементов могут объединяться, образуя единую схему И на много входов.

5. Элементы *D13*, *D14* — 30-ваттный усилитель. Для работы усилителя необходимо подать *1* на любой из входов *1*, *3*.

Включение напряжения питания приводит к появлению *1* на *7D3*, *8D7* и *8D10*. Триггер *D3* переводится в исходное положение по входу *10*, а триггеры *D7* и *D10* — по входам *9* от *1* с *7D3*. Этот же сигнал поступает на *5D12* выдержки времени «Пауза» и через время, определяемое величиной *R13* и положением выключателя *S4*, появится на его выходе *9*. Однако *1* с *9D12* из-за разомкнутой педальной кнопки на *9D3* не попадает. Сохраняется *0* на *8D3* и соответственно на *3D14*. Электропневматический клапан не включен. В качестве фазосдвигающего устройства используется элемент *D9*. На его вход *1* подается двухполупериодное отрицательное напряжение с пульсациями 100 Гц. Каждая полуволна вызывает на выходе *9D9* прямоугольный импульс, передний фронт которого задержан относительно начала полуволны на промежуток, определяемый параметрами *R14C17*. Таким образом, на *9D9* формируются прямоугольные импульсы с частотой 100 Гц, фазовое положение которых определяется величиной резистора *R14* «Нагрев». Однако фактически эти импульсы отсутствуют, так как выход *9D9* шунтирован *0* (нулем) на *7D7*. Таково исходное положение элементов регулятора.

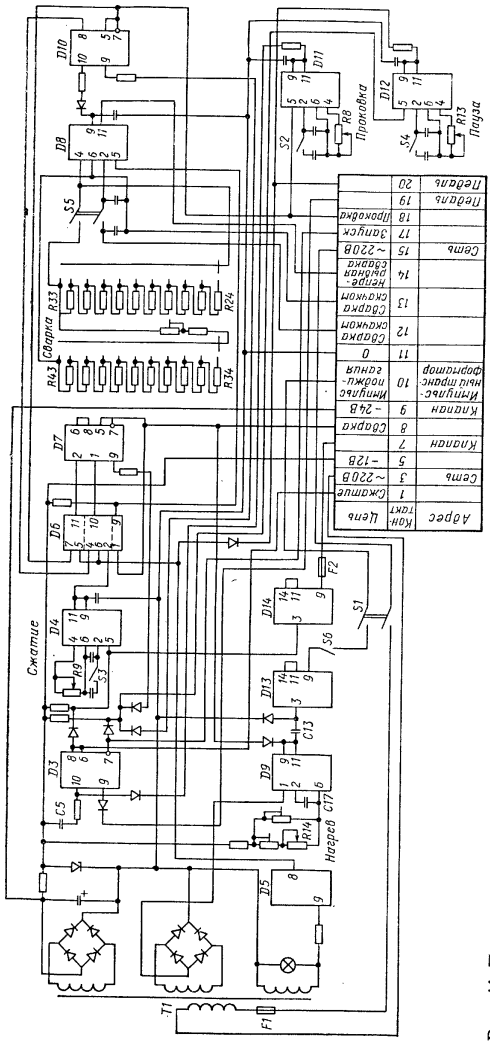


Рис. 44. Принципиальная электрическая схема регулятора времени типа РЦС-403

После замыкания педальной кнопки сразу же по входу *9* переключится триггер *D3*; соответственно на *5D12* и *9D12* установится 0. Одновременно *1* с *8D3* поступает на *3D14* и на *5D4* выдержки времени «Сжатие». Срабатывает клапан усилия, электроды сжимаются, идет счет времени «Сжатие», определяемый положением *S3* и величиной *R9*. Педаль может быть отпущена, так как триггер *D3* взял на себя функцию элемента «помнящего» о том, что цикл сварки начался и не может быть прерван до конца. Выходной сигнал с *9D4* подается на *2D6* первой схемы И. На другом входе *4D6* той же схемы также пока имеется *1* с *8D10*, а третий вход *6D6* соединен с *8D5* триггера синхронизации, формирующего прямоугольные импульсы с частотой 50 Гц. Появление и снятие первого импульса на выходе *10D6* приведет к срабатыванию триггера *D7* по импульсному входу *1*. С этого момента на *7D7* появляется *1*, которая открывает выход *9D9* и через *9D6* запускает задержку *D8* интервала времени «Сварка». Прямоугольные импульсы с *9D9* дифференцируются цепочкой $C13R_{вх}D13$ и усиливаются элементом *D13*. Нагрузкой элемента *D13* является импульсный трансформатор, расположенный вне регулятора цикла. Первый импульс управления появляется всегда синхронно с одной и той же полуволной напряжения сети, так как триггер *D7* перебрасывается не в произвольный момент окончания выдержки «Сжатие», а задерживается до прихода положительной полуволны напряжения, вызывающей появление *0* на *8D5*.

Сварочный ток продолжается до тех пор, пока *D8* отрабатывает выдержку «Сварка», регулируемую набором резисторов *R24 — R43* и выключателем *S5*. После окончания этой выдержки срабатывает триггер *D10* по входу *10* и на *8D10* установится *0*; тем самым первая схема И будет заблокирована и триггер *D7* не сможет управляться по входу *1*. От *7D10* запустится выдержка «Проковка» (элемент *D11*), и по входу *7D6* подготовится вторая схема И. Другой вход схемы И соединен с *8D5* триггера синхронизации, и поэтому переключение триггера *D7* по импульсному входу *2* произойдет в той же точке сети, что и при включении сварочного тока. Таким образом, триггер *D7* всегда переключается через целое число периодов, а так как переброс триггера *D7* в исходное положение приводит к отключению импульсов управления, то обеспечивается симметричность числа полуволн сварочного тока. Цикл заканчивается после появления *1* на *9D11* и срабатывания триггера *D3* по входу *10*. Усилитель *D14* отключается. Все элементы занимают исходное положение. Отсчитывается время «Пауза». Если по ее окончании педаль будет замкнута, то цикл работы регулятора повторится.

Более совершенным является высокопроизводительный регулятор типа РЦС-502. Цикл регулятора состоит из пяти выдержек времени. К четырем стандартным выдержкам добавлен интервал «Предварительное сжатие». Этот интервал отрабатывается в автоматическом режиме только для первого цикла, а при одиночном режиме — для каждого цикла. При высоком темпе работы интервалы «Сжатие», «Проковка» и «Пауза» устанавливаются как можно меньшими, и поэтому необходимо первую выдержку «Сжатие», когда электрод совершает свой полный рабочий ход, удлинить в автоматическом режиме дополнительным временем «Предварительное сжатие». За время «Пауза» электрод успевает только частично оторваться от точки и поэтому для его последующего опускания достаточно малого интервала «Сжатие». Фазосдвигающее устройство регулятора РЦС-502 кроме регулирования тока позволяет модулировать начало и конец сварочного тока и стабилизировать установленное значение тока при колебаниях напряжения питающей сети.

Регулятор РЦС-301 предназначен для управления работой машин малой мощности с пневматическим или педальным приводом усилия. Выдержка времени «Сжатие» не регулируется и равна 0,5 с. Выдержка «Проковка» обеспечивается инерционностью подвижных элементов машины. При работе с педальным приводом в цикле участвует только выдержка «Сварка», которая начинается по команде от бесконтактного путевого выключателя после создания усилия на электродах.

Регулятор БУ-5ИПС представляет собой многопрограммный регулятор с шестью регулируемыми выдержками времени: «Предварительное сжатие», «Сжатие», «Импульс», «Интервал», «Проковка» и «Пауза». Регулятор позволяет осуществлять пульсирующую сварку с регулируемым числом импульсов тока от 1 до 10 и интервалом между импульсами от 0,02 до 0,2 с. Выдержка «Предварительное сжатие» плавно регулируется от 0,02 до 0,5 с. Остальные выдержки времени могут дискретно изменяться от 0,02 до 2,0 с. Отсчет времени позиций основан на ступенчатом заряде конденсатора до определенного уровня зарядного напряжения импульсами, поступающими синхронно с напряжением сети.

Регулятор управляет двумя электропневматическими клапанами, обеспечивающими следующие режимы изменения усилия на электродах: с постоянным сварочным усилием; с постоянным ковочным усилием; с постоянным сварочным усилием и включением ковочного усилия на время проковки; с постоянным ковочным усилием, с выключением ковочного усилия после заданного импульса сварочного тока и с повторным включением ковочного усилия на время проковки.

Регулятор БУС также обеспечивает различные варианты циклов работы машины по сварочному току и усилию на электродах: с одним импульсом тока; с двумя импульсами тока разной величины и длительности, разделенными регулируемым интервалом; с одним сдвоенным импульсом тока, начальную и конечную части которого можно регулировать раздельно; с постоянным сварочным усилием; с постоянным ковочным усилием; с постоянным сварочным усилием и включением ковочного усилия в заданный момент времени.

Все интервалы времени, кроме «Предварительного сжатия», регулируются дискретно в пределах 0,02—2,0 с. Для этого в регуляторе имеется общий двоично-десятичный счетчик, переключаемый по циклу на отсчет интервалов, ранее установленных переключателями.

Регулятор РВТ-100М-1 (разработчик ИЭС им. Е. О. Патона) — пятипозиционный; схема регулятора построена на элементах тиристорной логики. В отличие от регуляторов серии РЦС и БУ регулятор РВТ управляет электропневматическим клапаном переменного тока и содержит в своем составе блок поджигания, способный включать как тиристорный, так и игнитронный контакторы.

В ИЭС им. Е. О. Патона разработан и выпускается малыми сериями универсальный регулятор типа РВТУ-200М, обеспечивающий работу точечных контактных машин по сложному термомеханическому циклу. Регулятор выполнен также на основе тиристорной логики. Цикл регулятора состоит из девяти операций: «Сжатие», «Подогрев», «Сварка», «Охлаждение», «Отжиг», «Ковка», «Пауза», «Задержка понижения давления», «Понижение давления». Регулятор позволяет программировать величину и длительность трех независимых импульсов сварочного тока (Подогрев, Сварка, Отжиг), а также изменять по программе усилие сжатия электродов. Включение двух пневмоэлектрических клапанов и игнитронов (тиристоров) вентильного контактора осуществляется бесконтактными ключами. Регулятор обеспечивает регулирование сварочного тока, модуляцию переднего фронта сварочных импульсов и безынерционную стабилизацию тока при колебаниях напряжения сети. Сварочный ток во время импульса может быть непрерывным или пульсирующим. Длительность пульсаций и пауз между ними регулируется в пределах 1—10 периодов дискретно через один период.

СИНХРОННЫЕ ПРЕРЫВАТЕЛИ

Синхронные прерыватели сварочного тока предназначены для включения и выключения тока первичных обмоток трансформаторов контактных машин и для точного регулирования режима сварки (сварочного тока и его продолжительности). Прерыватели применяют, главным образом, при сварке ответственных соединений, когда предъявляются жесткие требования к поддержанию режима сварки. Прерыватели типа ПСЛ (синхронные на логических элементах) могут работать в режимах как шовной, так и точечной сварки. В точечном режиме работы прерыватель при замыкании цепи запуска пропустит один импульс тока. Для получе-

23. Техническая характеристика прерывателей сварочного тока

Параметр	ПИШ-50-4, ПИШ-100-4, ПИШ-200-4	ПИТ-50-4, ПИТ-100-4	ПИТМ-50-5, ПИТМ-100-5, ПИТМ-200-5	ПСЛ-200	ПСЛ-700	ПСЛ-1200	ПСЛ-300	ПСЛ-600
Напряжение сети (при 50 Гц), В	380	380	380	220/300	380	380	220/380	380
Номинальный коммутируемый ток, А:								
точечная сварка	—	500; 1000	500; 1000; 2000	250	750	1300	750	1500
шовная сварка	200; 400; 800	1	—	200	700	1200	300	600
Длительность выдержек, с:								
Импульс	0,02—0,38	0,02—0,38	0,02—1,0	0,02—0,4	0,02—0,4	0,02—0,4	0,02—0,4	0,02—0,4
Пауза	0,02—0,38	—	—	0—0,4	0—0,4	0—0,4	0—0,4	0—0,4
Принцип отсчета интервалов	Аналоговый с синхронизацией, импульсами 50 Гц			Цифровой				
Элементная база схемы управления	Электронные лампы, маломощные тиратроны			Транзисторные элементы «Логика-Т»				
Вентильный контактор	Игнитронный			Тиристорный			Игнитронный	
Тип вентиля	И1-70/08, И1-140/08, И1-350/08	И1-70/08, И1-140/08	И1-70/08, И1-140/08, И1-350/08	ТВ-200	ТВ-500	ТВ-800	И4-70/08	И4-140/08
Схема поджигания игнитронов	На тиратронах			—	—	На тиристорах		
Пределы плавной регулировки сварочного тока, %	50—100			30—100				
Стабилизация сварочного тока при колебаниях напряжения сети, %	+5 −8			±5				
Модуляция сварочного тока	—	—	Нарастание и спад	Только нарастание				
Расход воды, л/мин	4; 6; 12	4; 6	4; 6; 12	2	2	6	4	6,5
Габаритные размеры, мм:								
высота	1610	1610	1610	1250	1250	1250	1250	1250
ширина	600	600	600	660	660	660	660	660
длина	450	450	450	350	350	350	350	350
Масса, кг	135	135	135	95	110	110	105	112

Примечание. Допустимые пределы колебания напряжения сети —15÷+5%

ния следующего импульса необходимо разомкнуть и снова замкнуть цепь запуска. Точечные прерыватели обычно работают совместно с регулятором времени.

В режиме работы шовной сварки прерыватель при замыкании цепи запуска пропускает периодически повторяющиеся импульсы тока заданной длительности и величины, разделенные паузой заданной длительности, до тех пор, пока не будет разомкнута цепь запуска. Прерыватели ПСЛ, так же как прерыватели ПИТ

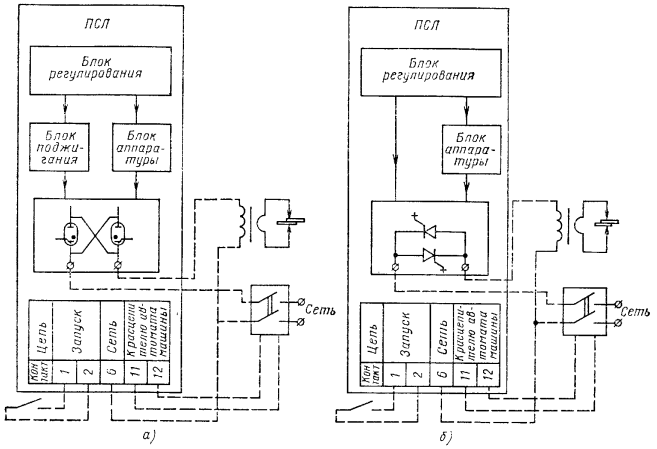


Рис. 45. Структурная схема прерывателя типа ПСЛ:
а — ПСЛ-300; ПСЛ-600; *б* — ПСЛ-200, ПСЛ-700 ПСЛ-1200

и ПИШ, имеют несколько модификаций в зависимости от тока коммутации. Техническая характеристика прерывателей приведена в табл. 23.

Синхронными прерывателями также являются некоторые шкафы управления. Например, шкаф ШУ-123 для управления машиной МТПУ-300 кроме собственно прерывателя имеет многопрограммный регулятор времени, позволяющий получать сварочный ток и усилия на электродах различной формы.

Прерыватели типа ПСЛ выполнены в виде однодверного шкафа управления. Структурные схемы прерывателей представлены на рис. 45, *а* и *б*. Блок регулирования во всех прерывателях одинаков, а блок аппаратуры меняется в зависимости от типа применяемого вентильного контактора. В прерывателях ПСЛ-200, ПСЛ-700 и ПСЛ-1200 блок аппаратуры служит для выключения сварочного тока при прекращении подачи воды или уменьшения ее количества ниже определенного предела. Блок аппаратуры ПСЛ-200 имеет сигнальное устройство на тиратроне с холодным катодом типа МТХ-90, следящее за исправностью тиристоров в применяемом контакторе КТ-1. В прерывателях ПСЛ-700 и ПСЛ-1200 такого устройства нет, так как используемые в них тиристорные контакторы КТ-03 и КТ-04 уже имеют сигнализацию исправности тиристоров.

Блок аппаратуры прерывателей ПСЛ-300 и ПСЛ-600 предназначен для подготовки цепей поджигания игнитронов, а также для выключения сварочного тока при повышении температуры воды на выходе игнитрона до 45—65° С. Для этого в игнитронный контактор устанавливают игнитрон типа И4, имеющий реле тепловой защиты.

Блок регулирования является основным и наиболее сложным узлом прерывателей ПСЛ. Схема блока регулирования обеспечивает раздельное регулирование длительности интервалов «Импульс» и «Пауза», синхронное включение сварочного тока, плавную регулировку его действующего значения, стабилизацию тока при колебаниях напряжения сети и модуляцию переднего фронта импульса тока до 0,3 с. Схема блока (рис. 46) выполнена на транзисторах и логических элементах. Для ее понимания следует учесть особенности работы логических элементов, приведенные при рассмотрении работы регулятора РЦС-403, а также некоторые дополнения.

1. Элемент *D1*—инвертор ИЛИ—НЕ. Если на входы *2* или *4* подать *1*, то на выходе *8* появляется *0*. Если на обоих входах будет *0*, то на выходе *1*.

2. Элементы *D2*, *D3*, *D4*, *D6—D11* — маломощные триггеры. Подача на вход *11 0* приводит к появлению 0 на выходах *5* и *7*. Наличие 1 на том же входе *11* работе триггера не мешает. При подаче импульсного напряжения на счетный вход, объединяющий входы *1* и *2*, происходит поочередное переключение выходного напряжения. Если на входы *3* или *9* подается положительный сигнал, то возникает 1 на выходе *5*, *7*. Отрицательный потенциал на входе *9* вызывает 0 на выходе *5*, *7*.

3. Элемент *D5* — 10-ваттный усилитель. Если на один из входов *3* или *5* поступает 1, то на выходе *9* будет 0. Для получения 1 на выходе необходим 0 на всех входах.

4. Элемент *D12* — 30-ваттный усилитель.

5. Элементы *D13—D16* — схемы *И*.

При подаче напряжения питания на выходе *8* элемента *D1* устанавливается 0. Соответственно 0 устанавливается на выходах *5* элементов *D2* и *D5*; 1 с *6D3* через *D13* поступает на *3D5*, в результате чего на *9D5* появляется 0, который по входам *11* устанавливает триггеры *D7—D11* в исходное состояние. Наличие 0 на *5D2* исключает возможность работы фазоимпульсного устройства включения тиристоров, так как через диод *V7* шунтируется вход транзистора *VE4*, а через *V9* — *1D12*. На *9D6* подается переменное напряжение, что приводит к формированию на его выходах прямоугольных импульсов напряжения, следующих с частотой 50 Гц. Эти импульсы с *5D6* поступают на счетный вход триггера *D7*, однако его работа запрещена наличием *0* на входе *11*. Те же прямоугольные импульсы поданы на *4D13*, но на другом входе *2* этой же системы *И* в рассматриваемый момент имеется 0, соответственно 0 будет на *10D13* и *1D3*. Прямоугольные импульсы с *6D6* через *D13* поступают на *2D4* и устанавливают этот триггер в состояние, при котором на *5D4*—0. Таково исходное положение схемы.

После замыкания цепи запуска появляется 1 на *8D1* и триггеры *D2* и *D3* получают возможность переключаться. Первым же импульсом с *5D6* через среднюю схему И элемента *D13* триггер *D3* опрокинется; 0 с *6D3* через верхнюю схему И элемента *D13* приведет к запиранию усилителя *D5*. На его выходе появится 1, которая позволяет триггерам *D7—D11* опрокинуться под действием тактовых импульсов с *5D6*. Конденсатор *C1*, ранее заряженный плюсом в сторону к *3D2*, разрядится и на *5D2* установится 1. С этого момента фазовращатель и *D12* открываются, импульсы включения силовых вентилей поступят на блок поджигания или на тиристорный контактор, включается сварочный ток.

Триггеры *D7—D10* включены по схеме двоично-десятичного счетчика. Это означает, что каждый элемент работает как двоичный, но благодаря специальной схеме соединений триггеров счетчик считает не до 16, а до 10. Одиннадцатый импульс переводит схему в состояние, эквивалентное счету первого импульса, и т. д. Триггер *D11* управляется с *5D10* и позволяет расширить счет до 20. Выходы всех триггеров *D7—D10* связаны со схемой совпадения на переключателях *S1—S4*, действующих совместно с элементами *D14—D16*. Схема соединения четырех галетных переключателей *S1* и *S3* выполнена в соответствии с состоянием плеч триггеров во время счета. С началом тактового импульса, соответствующего заданию переключателями *S1* и *S2* времени «Импульс» на объединенном выходе элементов *D14* возникает 1, которая по входам *1* и *3* подготовляет триггер *D4* к срабаты-

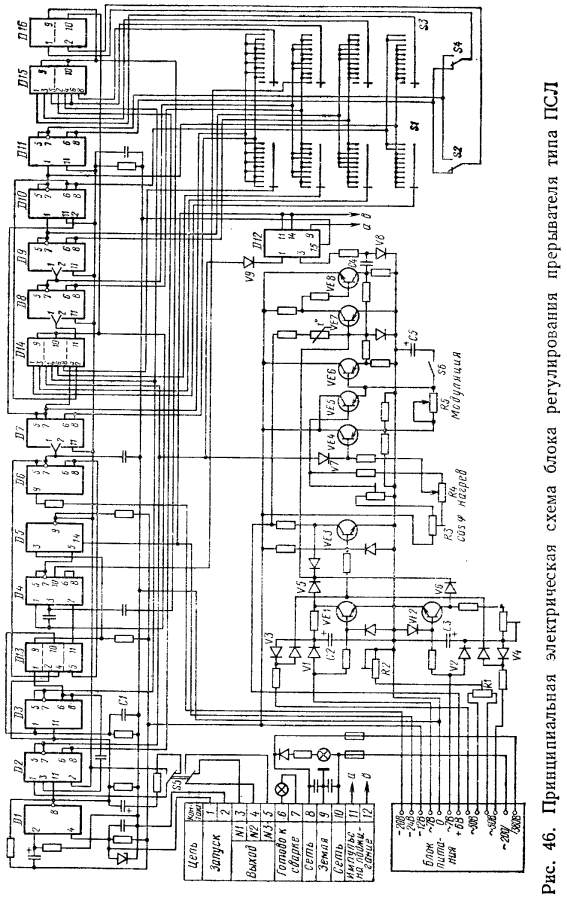


Рис. 46. Принципиальная электрическая схема блока регулирования прерывателя типа ПСЛ

ванию. В момент окончания тактового импульса 1 сменится на 0 и на *5D4* появится 1. Соответственно на *9D5* будет 0, который переводит триггеры счетчика в исходное положение и устанавливает на *5D2* 0. Фазовращатель отключается, сварочный ток прекращается.

Следующим тактовым импульсом с *6D6* вновь установится 0 на *5D4* и 1 на *9D5*. Счетчик начнет считать интервал «Пауза». После ее исполнения сработает схема совпадения (*S3*, *S4*, *D15*, *D16*), триггер *D4* опять изменит свое состояние, а усилитель *D5* вновь переведет триггеры счетчика в исходное положение. Дальнейшее прохождение цикла зависит от установленного режима. Если установлен точечный режим (1 положение *S5*), то опрокидывание триггера *D4* не вызовет опрокидывания триггера *D2*, так как на его выходе *6* уже имеется 1. Поэтому счетчик будет вновь отсчитывать установленный интервал «Пауза», пока не разорвется цепь запуска. Если же установлен шовный режим, то переключатель *S5* объединяет входы *1*, *2* триггера *D2* и последний будет переключаться всякий раз после окончания интервалов «Импульс» и «Пауза»; тем самым будет включаться и выключаться сварочный ток.

Схема фазовращателя построена по принципу вертикального управления. На нелинейном элементе сравниваются переменное периодическое напряжение одной полярности с постоянным или медленно меняющимся во времени напряжением другой полярности. Конденсаторы *C2* и *C3* заряжаются через диоды *V1* и *V2* от соответствующих полуволн переменного напряжения 7 В. Разряжаются они через диоды *V3* и *V4*. В цепь разряда включены обмотки трансформатора блока питания с напряжением 50 В, а также переменные резисторы *R1* и *R2*. Благодаря тому, что напряжение на обмотках значительно выше зарядного напряжения и диоды *V3* и *V4* заперты в течение всего интервала положительных полуволи, конденсаторы *C2* и *C3* начинают разряжаться практически только с началом отрицательных полуволн напряжения. В связи с этим форма напряжений на *C2* и *C3* носит характер трапецеидальных импульсов, сдвинутых по фазе на полпериода. Значительная часть этих напряжений в дальнейшем шунтируется в положительные полуволны сетевого напряжения транзисторами *VE1* и *VE2*, а оставшаяся спадающая часть напряжения суммируется через диоды *V5* и *V6*. В результате на базу транзистора *VE7* подается положительное пилообразное напряжение с крутонарастающим фронтом и пологим спадом, повторяющееся с частотой 100 Гц. В интервалах «Импульс», когда диод *V7* заперт напряжением с *5D2* на базу того же транзистора *VE7* через эмиттерные повторители *VE4*, *VE5* и *VE6* поступает управляющее отрицательное напряжение, регулируемое потенциометром *R4* «Нагрев». Когда сумма положительного пилообразного напряжения и отрицательного напряжения управления достигнет определенного порога, транзистор *VE7* включится и останется в проводящем состоянии до прихода очередного импульса, который своим начальным высоким положительным потенциалом запрет его. В следующем периоде картина повторится. Прямоугольные импульсы с коллектора *VE7* через согласующий усилитель *VE8* и дифференцирующую цепочку *C4*, *V8* попадает на вход усилителя *D12*. Нагрузкой усилителя является импульсный трансформатор блока поджигания или тиристорного контактора.

Фазовое положение импульсов определяется управляющим напряжением; чем оно больше, тем раньше наступит порог срабатывания *VE7*, тем больше смещаются импульсы управления влево и тем больше сварочный ток. Потенциометр *R3* «cos φ» ограничивает фазовое смещение импульсов влево сверх необходимого для получения полнофазного тока. Включение *S6* позволяет получить модуляцию переднего фронта импульса сварочного тока. Управляющее напряжение на базе транзистора *VE7* будет при этом нарастать плавно из-за заряда конденсатора *C5*, и импульсы управления также плавно будут сдвигаться из крайнего правого положения до установленного потенциометром «Нагрев» фазового положения. Крутизна модуляции определяется резистором *R5*.

Благодаря тому, что характер изменения пилообразного напряжения соответствует форме кривой фазового регулирования тока (см. рис. 40), фазовращатель автоматически обеспечивает стабилизацию тока при колебаниях напряжения

сети. Действительно, с ростом или падением напряжения сети увеличивается или уменьшается величина пилообразного напряжения. При постоянном управляющем напряжении это приводит к сдвигу импульсов управления соответственно вправо и влево, что стабилизирует установленный сварочный ток. Конструктивно блок регулирования выполнен в виде отдельного устройства размером 420 × × 166 × 332 мм и массой 16 кг.

Блок поджигания предназначен для управления игнитронами типа И2-70/0,8, И2-140/0,8, И2-350/0,8, включенными по схеме вентильного контактора; использ-

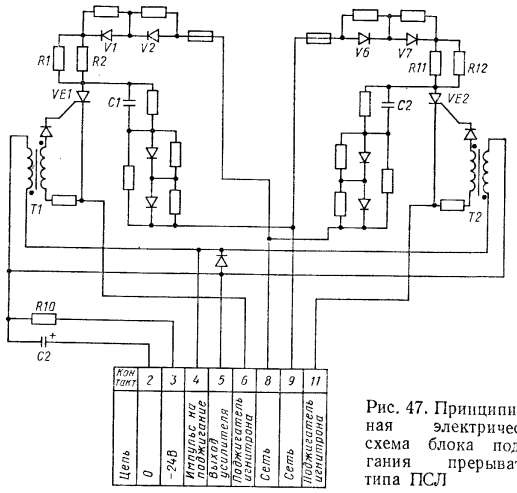


Рис. 47. Принципиальная электрическая схема блока поджигания прерывателя типа ПСЛ

уют его в прерывателях типа ПСЛ-300 и ПСЛ-600 с управлением от блока регулирования. Принципиальная электрическая схема блока поджигания приведена на рис. 47. В качестве управляющих элементов применяют тиристоры *VE1* и *VE2* типа Т50-9 с естественным охлаждением. Тиристоры включены по схеме зависимого поджигания игнитронов. Импульсы управления с частотой 100 Гц поступают от блока регулирования на первичные обмотки трансформаторов *T1* и *T2*. Включается тот тиристор и соответственно тот игнитрон, аноды которых в данный момент положительны. Схема обеспечивает необходимый уровень мгновенного тока поджигания 30 А и более. Основными элементами, ограничивающими ток поджигания, являются 25-ваттные резисторы *R1*, *R2*, *R11*, *R12* по 10 Ом каждый. После поджигания игнитронов ток через тиристоры *VE1* и *VE2* резко уменьшается. Диоды *V1*, *V2*, *V6*, *V7* уменьшают влияние обратных полуволн напряжения. Конденсаторы *C1* и *C2* ограничивают скорость нарастания напряжения на анодах тиристоров во время выключения игнитронов до величины не более 20 В/мкс, что исключает самопроизвольное включение тиристоров.

Для повышения помехоустойчивости схемы в первичную обмотку трансформаторов *T1* и *T2* включена интегрирующая цепочка, образованная конденсатором *C2* и резистором *R10*.

Блок поджигания является унифицированным узлом и может быть установлен непосредственно в сварочную машину. В этом случае он является бесконтакт-

ным исполнительным устройством синхронного регулятора времени, управляющего последовательностью действий данной машины. Размеры блока поджигания с кожухом 480 × 120 × 150 мм, масса 8 кг.

АППАРАТУРА КОНДЕНСАТОРНЫХ МАШИН

Принцип работы конденсаторной машины прост. Батареи конденсаторов заряжаются в перерывах между сварками от зарядного выпрямителя, а затем разряжаются на первичную обмотку сварочного трансформатора, создавая мощный импульс сварочного тока. Регулирование энергии, а соответственно и сварочного тока осуществляется изменением емкости конденсаторов и величины их

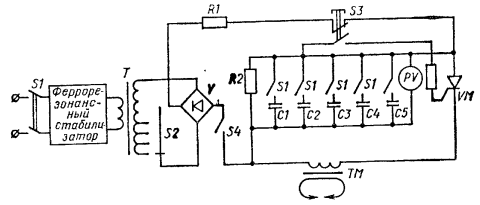


Рис. 48. Типовая электрическая схема конденсаторной машины для сварки деталей малых толщин

зарядного напряжения. Емкость батареи большой современной конденсаторной машины достигает нескольких сотен тысяч микрофарад, а зарядное напряжение 400 В Такие большие емкости удается получать благодаря применению специальных импульсных электролитических конденсаторов, допускающих многократный полный разряд и частичный перезаряд напряжением обратной полярности, неизбежно получающийся при разряде конденсаторов на индуктивную нагрузку. Наиболее ответственной частью конденсаторной машины является зарядное устройство, сложность которого возрастает по мере увеличения емкости батареи конденсаторов, уменьшения допустимого времени заряда и повышения требований к точности поддержания уровня зарядного напряжения. Типовая электрическая схема конденсаторной машины для сварки деталей малых толщин изображена на рис. 48. От зарядного трансформатора через однофазный выпрямительный мостик заряжается батарея конденсаторов. Она составлена из отдельных групп конденсаторов разной емкости так, что переключателем *S1* можно регулировать рабочую емкость малыми ступенями. Зарядное напряжение также можно регулировать переключателем *S2* в заданных пределах. Зарядное напряжение контролируют вольтметром *PV*. Напряжение заряда поддерживается на выбранном уровне феррорезонансным стабилизатором. Резистор *R1* ограничивает пиковый ток заряда. На резистор *R2* разряжается батарея после отключения напряжения питания. При нажатии на кнопку *S3* включается тиристор *VM* и конденсаторы разряжаются на обмотку сварочного трансформатора. Одновременно отключается зарядная цепь. Обычно кнопка *S3* соединена с педальным или пневматическим приводом усилия для того, чтобы разряд конденсаторов осуществлялся всегда при наличии замкнутого контура.

Рассмотрим аппаратуру управления машины МТК-8004, которая обеспечивает ток в импульсе до 80 кА, при этом потребляя из сети среднюю мощность за один цикл 70 кВА. Машина оснащена двумя конденсаторными шкафами типа ШК-11 и шкафом управления типа ШУ-259-2. Каждый шкаф ШК-11 содержит девять блоков конденсаторов с переключателями ступеней и защитными элементами.

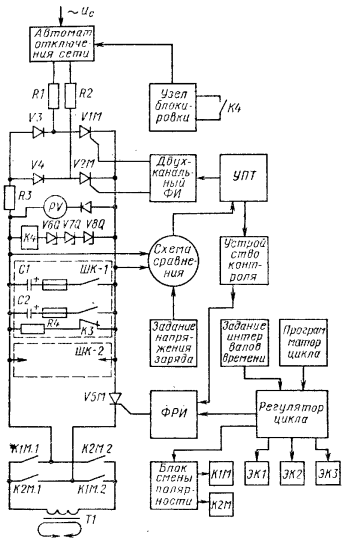


Рис. 49. Элементно-принципиальная схема машины типа МТК-8004

В свою очередь каждый блок содержит 50 конденсаторов типа К50И-1 емкостью 350 мкф и рабочим напряжением 400 В. Таким образом, общая емкость батареи конденсаторов машины составляет примерно 300 000 мкФ. С помощью переключателей она может меняться от 11 до 100% несколькими ступенями. Шкаф занимает площадь 800 × 600 мм при высоте 1600 мм. Масса шкафа ШК-11 200 кг. В шкафу ШУ-259-2 размещены элементы цепей управления зарядом батареи конденсаторов и циклом работы машины. Цикл машины состоит из шести операций, которые автоматически следуют друг за другом после нажатия на педаль: опускание электродов, предварительное сжатие деталей с повышенным усилием, сжатие деталей со сварочным усилием, прохождение сварочного импульса тока — начало проковки, сжатие деталей с повышенным давлением — проковка, пауза. Некоторые операции из цикла работы можно исключать. Схема шкафа в основном построена на элементах «Логика-Т». Шкаф ШУ-259-2 занимает площадь 600 × 350 мм при высоте 1200 мм и массе 125 кг.

Элементно-принципиальная схема машины МТК-8004 представлена на рис. 49 *1. Блоки конденсаторов *C1* и *C2* заряжаются непосредственно от сети через управляемый однофазный мост на тиристорах *V1M* и *V2M* и диодах *V3* и *V4*. Резисторы *R1*, *R2* и *R3* ограничивают начальный ток заряда и ток короткого замыкания в случае возможного пробоя зарядных цепей на землю. Тиристоры *V1M* и *V2M* типа Т-320-9 и диоды *V3* и *V4* типа В2-320-9, как требующие охлаждения, размещены непосредственно в самой машине.

Тиристоры выпрямительного мостика работают в режиме заряда конденсаторов с постоянной фазой включения, а в режиме подзаряда фаза включения вентилей автоматически устанавливается такой, чтобы подзаряд батареи обеспечивался минимально необходимыми порциями энергии в каждую полуволну выпрямленного напряжения, компенсируя собственные утечки конденсаторов и их разряд за счет измерительных цепей. Разряд батареи конденсаторов на сварочный трансформатор осуществляется с помощью тиристора *V5M* (ТВ-800). На время разряда импульсы управления с тиристоров *V1M* и *V2M* снимаются. Контакторы *K1M* и *K2M* включаются по очереди, изменяя в каждом цикле направление тока разряда в трансформаторе *T1*, с целью предотвращения одностороннего намагничивания его сердечника.

При отключении машины конденсаторная батарея разряжается на резистор *R4* через контакты реле *K3*. Последние всегда разомкнуты, если на машину подается напряжение питания.

*1 Ряд элементов зарядно-разрядной цепи в схеме опущен.

Уровень зарядного напряжения задается в пределах 150—380 В с помощью задатчика напряжения заряда. Результирующее напряжение сравнения задаваемого и истинного напряжений заряда на батарее поступает на усилитель постоянного тока (*УПТ*). *УПТ* построен по принципу модулятор — усилитель переменного тока — демодулятор, что позволяет получить высокий коэффициент усиления без дрейфа нуля. Несущая частота *УПТ* 5 кГц. Усиленный сигнал рассогласования подается на двухканальный формирователь импульсов (*ФИ*), работающий по «вертикальному» принципу управления. Импульсы с *ФИ*, сдвинутые по каналам на 180°, подаются на управляющие электроды тиристоров *V1M* и *V2M*. Если сигнал рассогласования на входе *УПТ* больше 1 В (режим заряда), то на формирователь подается управляющее напряжение постоянного уровня и фаза импульсов устанавливается около 60°. Это позволяет использовать для заряда большую часть выпрямленного напряжения. Режим подзаряда автоматически наступает, когда зарядное напряжение отстает от уровня задания меньше чем на 1 В. В этом случае выходной сигнал с *УПТ* сдвигает фазу включения тиристоров вправо так, чтобы в подзаряде могла участвовать только небольшая часть полуволны зарядного напряжения.

Уровень зарядного напряжения контролируется вольтметром *PV* и схемой блокировки, содержащей стабилитроны *V6Q*, *V7Q*, *V8Q*. Если напряжение на батарее превысит 390 В, пробьются стабилитроны, сработает реле *K4* и схема блокировки отключит источник зарядного напряжения. Одновременно загорится лампочка сигнализации. Снять блокировку можно специальной кнопкой. В схеме имеется дополнительное устройство контроля, которое не позволяет включить сварочный импульс, пока батарея не перейдет в режим подзаряда; об этом устройство контроля получает информацию с *УПТ*.

Регулятор цикла, который управляет последовательностью действия машины, обеспечивает производительность до 50 сварок в минуту. Однако по условиям работы зарядных цепей после 10-минутной работы в таком темпе должна следовать 10-минутная пауза. Разрешенная среднечасовая производительность составляет 1800 сварок в час. Наличие трех электропневматических клапанов *ЭК1*, *ЭК2*, *ЭК3* позволяет получать цикл с различными вариантами формы прилагаемого усилия. Возможен цикл с постоянным усилием во времени, но изменяемым в широком диапазоне по величине. Возможно приложение ковочного усилия, момент включения которого регулируется в пределах 0,03—0,13 с от начала включения импульса тока. Можно также иметь предварительное усилие обжатия, отключаемое на время включения тока. Все эти комбинации устанавливаются с помощью программатора цикла. Устройство задания интервалов времени регулирует выдержку времени плавно, за исключением времени приложения ковочного усилия. Надобность в точном отсчете интервалов в конденсаторной машине отсутствует, так как основной параметр — сварочный ток не поддается регулированию по циклу, а зависит от параметров зарядно-разрядной цепи. Регулятор цикла управляет также формирователем разрядного импульса *ФРИ*, который подается на управляющий электрод тиристора *V5M*, и блоком смены полярности разрядного тока. Последний поочередно переключает контакторы *K1M* и *K2M* сразу же после окончания тока, подготовляя следующий цикл. В работе этого блока принимает участие магнитоуправляемый контакт, расположенный вблизи сварочного контура. Тем самым обеспечивается переключение после полного окончания прохождения тока и не производится переключение при опробовании машины по циклу без тока.

По-иному выполнена схема зарядного устройства машины МТК-1601. Для увеличения быстродействия используются металлобумажные конденсаторы. Емкость ее конденсаторной батареи значительно меньше, чем у МТК-8004, и поэтому схемой предусмотрена возможность заряда внутри сварочного цикла. Уровень напряжения на конденсаторах может регулироваться от 100 до 500 В. Схема зарядной цепи (рис. 50) содержит повышающий трансформатор *T1* и выпрямительный мостик на диодах *V1—V4*. По циклу от регулятора времени подается команда на включение зарядного тиристора *VE1*. Тиристор управляется импульсами с ча-

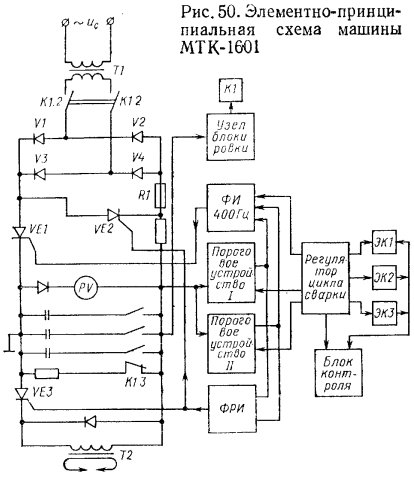


Рис. 50. Элементно-принципиальная схема машины МТК-1601

стотой 400 Гц, что позволяет не заботиться о фазовом положении импульсов управления. Как только напряжение на батарее конденсаторов достигает установленного уровня, пороговое устройство прекращает подачу импульсов управления на тиристор *VE1*. Одновременно формируется импульс управления разрядным тиристором *VE3*, который, включаясь, разряжает батарею конденсаторов на сварочный трансформатор. В связи с тем, что зарядный тиристор *VE1* пропускает всю полуволну питающего напряжения, необходимо обеспечить его отключение в момент достижения заданного уровня зарядного напряжения. Для этого в момент разряда одновременно с тиристором *VE3* включается шунтирующий тиристор *VE2*, который замыкает выпрямительный мостик на часть балластного сопротивления *R1*. Тиристор *VE1* сразу выключается. Если напряжение заряда превысит допустимый предел, то сработает блокировка и реле отключит напряжение питания.

По циклу машина может работать с двумя импульсами тока, разделенными паузой, в течение которой происходит повторный заряд конденсаторной батареи, но уже до другого заранее установленного уровня напряжения. Выключение зарядного тиристора обеспечивает второе пороговое устройство.

В связи с тем, что управление машины выполнено на элементах «Логика-Т», схема имеет дополнительный сервис — контроль работы отдельных узлов машины. На вход схемы контроля подаются сигналы от контролируемых участков. По мере включения их в работу по циклу зажигается сигнальная лампа. Если контролируемый узел не работает, то сигнальная лампочка не горит.

АППАРАТУРА МАШИН ДЛЯ СВАРКИ ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ

Большое индуктивно-активное сопротивление сварочного контура является причиной необходимости повышения мощности сварочных машин особенно для сварки крупногабаритных деталей и материалов с большой удельной теплопроводностью. По энергетическим соображениям считается нецелесообразным увеличение мощности однофазных машин свыше 400 кВА.

В выпускаемой отечественной промышленностью серии машин постоянного тока применена схема однополупериодного выпрямления. Падение напряжения на вентиле соизмеримо с выпрямленным напряжением, и поэтому нецелесообразно применять выпрямители мостового типа с обязательным последовательным соединением вентилей. Большая индуктивность сварочного контура машин настолько существенно уменьшает глубину пульсаций сварочного тока, получаемого при однополупериодном выпрямлении, что не создает технологических трудностей при сварке.

В связи с применением на вторичной стороне трансформатора однополупериодного выпрямления, оказалось достаточным и на первичной стороне иметь только три вентиля. Применяют тиристоры типа ТВ-500-9 и ТВ-800-9, которые поочередно включаются с интервалом 120°. Резисторы, шунтирующие обмотки трансформатора, облегчают условия выключения тиристоров в процессе коммутации тока.

Силовые вентили, выпрямляющие сварочный ток, объединены в блоки, имеющие групповой охладитель в виде толстой медной шины, интенсивно охлаждаемой проточной водой. Разработаны блоки вентилей трех типоразмеров — на 10, 16 и 20 кА (ПВ = 100%) с параллельно включенными соответственно четырьмя, шестью или восьмью вентилями типа ВВ-1250. В каждую фазу выпрямителя параллельно включается несколько блоков вентилей. Для одного блока вентили тщательно подбирают по падению напряжения. Допускается разброс падения напряжения на разных вентилях не более чем в несколько десятков милливольт. Близкими по падению напряжения подбирают блоки, устанавливаемые в одну фазу трансформатора, иначе неизбежно несимметричное распределение тока нагрузки, что приведет к выходу из строя наиболее нагруженных вентилей.

Для управления описываемыми машинами выпускаются два шкафа управления: типа ШУ-255-2 и ШУ-278-1. Оба шкафа обеспечивают управление: тремя тиристорами на первичной стороне сварочного трансформатора, прохождением заданного цикла работы машины с точным отсчетом всех выдержек времени, а также быстродействующую защиту полупроводниковых вентилей от перегрузки по току.

Схемы обоих шкафов выполнены на элементах «Логика-Т», полностью унифицированы и отличаются только циклом работы. Шкаф ШУ-255-2 предназначен для управления только точечными машинами. Он управляет четырьмя электропневматическими клапанами, обеспечивая сложные вариации цикла с предварительным сварочным и ковочным усилиями разных уровней. Каждый цикл может состоять из одного или двух импульсов сварочного тока, самостоятельно регулируемых по времени и нагреву. Импульсы могут разделяться регулируемым интервалом, а могут сливаться в один, ступенчато изменяемый по величине. Длительность интервалов «Предварительное сжатие», «Сжатие», «Задержка на включение тока», «Интервал» и «Пауза» может меняться дискретно от 0,02 до 8,0 с, а интервалов «Импульс I», «Импульс II», «Включение повышенного сварочного усилия», «Включение ковочного усилия» и «Проковка» — в пределах 0,02—16,0 с. В зависимости от установленного диапазона шаг дискретизации интервалов устанавливается равным 0,02, 0,04 или 0,08 с. Величина импульсов сварочного тока регулируется от 40 до 100% с помощью переключателей, тем самым обеспечивается хорошая повторяемость режимов сварки по «Нагреву». Обеспечивается стабилизация сварочного тока с точностью ±2,5% при колебаниях напряжения сети в пределах +5%, —10% от номинального значения.

Шкаф типа ШУ-278-1 предназначен для управления роликовыми машинами, хотя может работать и в точечном режиме. Его цикл по давлению несколько упрощен, но зато осуществляется управление электромагнитной муфтой, обеспечивающей вращение электродных роликов, в том числе и в шаговом режиме. Выдержка времени «Предварительное сжатие», «Сжатие», «Импульс I»,«Интервал», «Импульс II», «Проковка» и «Пауза» регулируются дискретно в пределах 0,02—8,0 с тремя диапазонами. Возможность управления сварочным током такая же, как у шкафа ШУ-255-2. Оба шкафа имеют одинаковые габаритные размеры (ширину 432 мм, глубину 600 мм, высоту 1600 мм) и массу 160 кг. Конструктивно шкаф управления содержит четыре съемных блока, каждый из которых несет определенную функциональную нагрузку.

Рассмотрим работу схемы, пользуясь блок-схемой на рис. 51. На двухдекадный двоично-десятичный счетчик от делителя частоты поступают импульсы, частота повторения которых равна 50, 25 или 12,5 Гц, в зависимости от выбранного диапазона задания времени интервалов цикла. Диодный дешифратор преобразует двоичный код в десятичный и подает его на схемы *И*, число которых опреде-

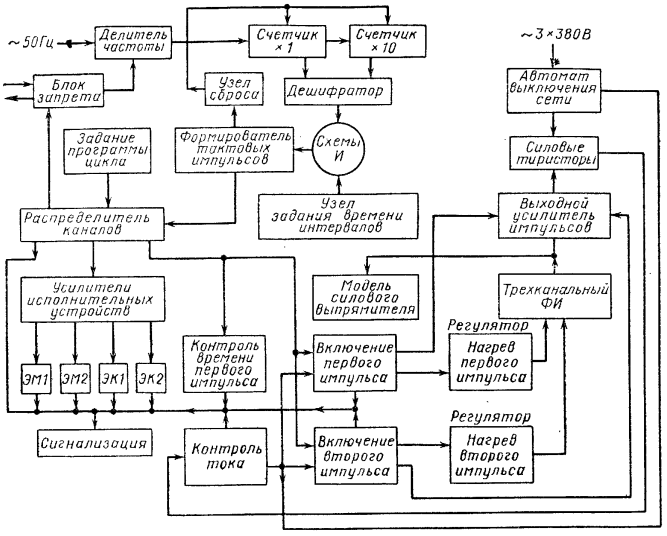


Рис. 51. Блок-схема шкафа управления типа ШУ-278-1

ляется числом отрабатываемых интервалов. Время интервалов задается дискретно парами переключателей, входящих в состав узла задания времени. Каждая пара переключателей связана с соответствующей схемой *И*. Очередность включения схем *И* определяется распределителем каналов, работа которого, в свою очередь, зависит от положения переключателей узла задания программы цикла. После отсчета заданного интервала времени сигнал совпадения поступает в формирователь тактового импульса, который переключает распределитель каналов на следующую операцию и через узел сброса устанавливает счетчик в исходное состояние, так что уже следующим импульсом с делителя частоты начинается отсчет времени следующей операции. Распределитель каналов через усилители включает исполнительные устройства: электропневматические клапаны ЭК, электромагнитные муфты ЭМ, узлы включения тока первого и второго импульсов.

Для управления силовыми тиристорами схема имеет трехканальный формирователь *ФИ*, который генерирует импульсы, повторяющиеся внутри каждого канала через 360° и отстоящие между каналами на 120°. Формирователь состоит из трех одинаковых фазовращателей, работающих по принципу сравнения двух сигналов. На каждый фазовращатель подается переменное напряжение, синфазно с одним из линейных напряжений сети, и общее управляющее постоянное напряжение. Переменное напряжение преобразуется в пилообразное. В момент равенства напряжения пилы и управляющего напряжения формируется импульс. Для

повышения крутизны его фронта схема формирования построена по принципу блокинг-генератора с положительной трансформаторной обратной связью. Фазовое положение импульсов определяется уровнем управляющего напряжения, которое поступает с регуляторов «Нагрев», и уровнем напряжения сети, от которого зависит работа схемы автоматической стабилизации сварочного тока. Чем больше напряжение сети, тем правее сдвигаются импульсы управления, пропорционально уменьшая возросший сварочный ток. Импульсы управления с *ФИ* поступают на трехканальный усилитель, входные трансформаторы которого непосредственно соединены с силовыми тиристорами первичных обмоток сварочного трансформатора. Однако импульсы на тиристоры поступают только после команды с одного из узлов включения тока. Одновременно с командой на включение тока на *ФИ* подается постоянный сигнал, соответствующий уровню нагрева первого или второго импульсов.

Схемой управления предусмотрен ряд блокировок. Прежде всего защита вентилей от перегрузки по току. Сигнал о перегрузке поступает с трансформаторов тока, включенных в линейные провода питания сварочного трансформатора. В случае превышения установленной нагрузки, вызванной, скорее всего, пробоем одного из вторичных вентилей, узел контроля тока блокирует управление включением тиристоров и одновременно дает команду на отключение напряжения питания.

В схеме имеется также блок контроля времени протекания первого импульса тока. Если по каким-либо причинам длительность первого импульса затягивается сверх установленного задания, блок контроля запретит подачу импульсов управления, отключая тем самым сварочный ток. Так как одновременное включение сварочного тока сразу нескольких машин неблагоприятно сказывается на условиях сварки, то схемой предусматривается искусственная задержка включения тока. При получении запрета с другой машины подается сигнал на остановку счета, но не ранее начала операции «Сжатие». Записанная комбинация на счетчике при этом не нарушается. С окончанием запрета цикл сварки автоматически продолжается. В свою очередь, с началом операций «Импульс I», а также на время «Интервал» и «Импульс II» подается сигнал запрета на включение тока других аналогичных машин.

Сервисный узел сигнализации с помощью сигнальных лампочек позволяет контролировать прохождение всех операций цикла, срабатывание исполнительных устройств, а также нарушение правильности работы схемы.

К устройствам контроля относится также модель силового выпрямителя, состоящая из маломощных трансформатора, тиристоров и диодов, включенных аналогично силовым элементам. Модель работает непрерывно, независимо от работы машины, так как на ее тиристоры поступают импульсы от *ФИ*. Нагрузкой выпрямителя модели является резистор и вольтметр, по показаниям которого можно контролировать режим «Нагрева» и работу системы автоматической стабилизации тока.

Для этого с помощью специального трансформатора и переключателя имитируют изменения напряжения сети и по вольтметру наблюдают, как схема отрабатывает это возмущение. Если выпрямленное напряжение модели изменяется больше нормы, то элементами подстройки корректируют работу автоматической системы стабилизации. После контроля и подстройки переключатель изменения напряжения устанавливают в исходное состояние.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Аксельрод Ф. А., Миркин А. М.** Оборудование для сварки давлением. М., Высшая школа, 1975. 238 с.
2. **Аксельрод Ф. А., Гульденбальк А. П., Зайцев М. П.** Основы электротехники и электроники. М., Профтехиздат, 1961. 184 с.
3. **Бокштейн О. Н., Канин А. М.** Оборудование для контактной сварки постоянным током. М., Энергия, 1976. 104 с.

4. **Глебов Л. В., Пескарев А. Н., Файгенбаум Д. С.** Расчет и конструирование машин контактной сварки. М., Энергия, 1968. 410 с.
5. **Глебов Л. В., Филиппов Ю. Н., Чулошников П. Л.** Установка и эксплуатация машин контактной сварки. М., Энергия, 1973. 296 с.
6. **Зайчик Л. В., Орлов Б. Д., Чулошников П. Л.** Контактная сварка легких сплавов. М., Машгиз, 1963. 220 с.
7. **Контактная** сварка/Ф. А. Аксельрод и др. М., Высшая школа, 1964. 464 с.
8. **Недорезов В. Е.** Электросварочные машины. М., Машиностроение, 1977. 312 с.
9. **Патон Б. Е., Лебедев В. К.** Электрооборудование для контактной сварки. М., Машиностроение, 1969. 440 с.
10. **Рыськова З. А.** Трансформаторы для контактных электросварочных машин. М., Энергия, 1975. 280 с.
11. **Технология** и оборудование контактной сварки/Б. Д. Орлов и др. М., Машиностроение, 1975. 536 с.
12. **Чулошников П. Л.** Точечная и роликовая электросварка легированных сталей и сплавов. М., Машиностроение, 1974. 200 с.

Глава 7

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ХОЛОДНОЙ, УЛЬТРАЗВУКОВОЙ, ДИФФУЗИОННОЙ, МИКРОПЛАЗМЕННОЙ, ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ И СВАРКИ ТРЕНИЕМ

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ХОЛОДНОЙ СВАРКИ

Машины для холодной сварки применяют с целью соединения высокопластичных металлов, главным образом алюминия и меди, в однородном и разнородных сочетаниях. Холодной сваркой выполняют стыковые соединения заготовок сплошного сечения различной конфигурации без изменения их геометрии, а также нахлесточные соединения, в том числе и разнотолщинных заготовок. По типу получаемых соединений и характеру их выполнения различают оборудование для стыковой, точечной и шовной сварки. В зависимости от конструктивного оформления инструмента на точечных машинах можно получить одно- и многоточечные соединения, а также соединения по контуру. По степени автоматизации основных и вспомогательных операций выделяют машины неавтоматизированные (с ручным управлением), полуавтоматы и автоматы. В автоматах все операции, включая подготовительные (зачистка или обрубка заготовок), зажим деталей, повторная осадка, освобождение изделия и т. д. выполняются без участия оператора по определенной программе. В полуавтоматах неавтоматизированными остаются только подготовка поверхности заготовок, укладка заготовок и съем готовой продукции. По возможности перемещения во время выполнения работ оборудование подразделяют на стационарное и переносное (клещи, передвижные установки). Машины, в том числе и серийно выпускаемые, проектируются на сварку конкретных изделий или группы изделий (проводов, шин, корпусов электронных приборов и конденсаторов, армирование алюминиевых деталей и т. п.). Однако, за исключением узкоспециализированных установок, машины для холодной сварки можно перестраивать на изготовление других деталей путем замены инструмента (вкладышей, пуансонов, штампов).

Оборудование для стыковой сварки. В состав установок для стыковой сварки в общем случае входят: зажимные устройства (губки, сменные вкладыши); механизм замыкания губок для создания необходимой силы трения; направляющие для перемещения губок с заготовками; механизм осадки; аппаратура управления; вспомогательные механизмы и приспособления для отрезки концов заготовок (ножи, дисковая пила в сочетании со щетками), для удаления грата.

В машинах для стыковой сварки зажимные устройства играют роль инструмента. При его проектировании для конкретного изделия следует руководствоваться следующими рекомендациями. Зажимы выполняют разъемными из двух частей. По плоскости разъема предусматривают гарантированный зазор, составляющий 2—5% толщины или диаметра свариваемой заготовки. Участок внутренней поверхности зажимной губки, контактирующий непосредственно со свариваемой заготовкой, должен соответствовать конфигурации сечения свариваемой детали. Для предотвращения проскальзывания заготовок и уменьшения необходимого усилия зажатия на поверхности губок делается насечка. Глубина насечки должна составлять 3—4% диаметра или толщины заготовки, но не более 0,35—0,4 мм Рифление поверхности выполняют в виде винтовой канавки у зажимов для круглых заготовок. На зажимах, предназначенных для плоских заготовок, насечку наносят только на широкой стороне. Размеры поперечного сечения рабочего окна зажимных губок должны быть меньше размеров заготовки на удвоенную высоту выступов насечки. Для удаления облоя края зажимов заостряют под углом 60°, что позволяет срезать выдавленный металл в конце осадки. Для

предотвращения поломки заостренных частей у губок предусматривают специальные опорные поверхности, препятствующие их полному смыканию. В случае сварки круглых заготовок на зажимных губках у заостренных частей предусматривают специальные выступы, разрезающие кольцо облоя. Материалом для зажимных губок и вкладышей служат стали, идущие на изготовление штампов для холодной штамповки.

Конструкция зажимного механизма должна гарантировать отсутствие проскальзывания заготовок в процессе сварки. Наиболее удачным решением являются кулачковые и клиновые запорные механизмы. С помощью таких устройств при наличии насечки на рабочих поверхностях губок усилие зажатия может составлять 45% усилия осадки.

Зажатие осуществляется вручную при сварке заготовок малых сечений и с помощью пневмо- и гидроцилиндров при сварке заготовок больших сечений. Необходимое сварочное усилие обеспечивается пневматикой, пневмогидравликой или гидравликой. В машинах с гидроприводом насосная станция обычно монтируется внутри корпуса машины. Управление работой гидро- и пневмоцилиндров обеспечивается с помощью кранов либо золотниковых устройств с электромагнитным приводом, команда на срабатывание которых может подаваться вручную или от программного устройства в зависимости от степени автоматизации процесса сварки. Усилие осадки контролируют по манометру. Вылет заготовки определяется на глаз или регламентируется с помощью конечных выключателей. Скорость деформирования металла, как правило, выбирают из условия обеспечения необходимой производительности. Машины комплектуют отрезными механизмами (ножами) для подготовки заготовок к сварке с пневматическим или гидравлическим приводом. Для работы с ручными клещами имеются специальные кусачки для обрезки концов заготовок. Характеристика серийных машин для стыковой сварки представлена в табл. 1.

Для сварки проводов малых сечений в условиях монтажа используют ручные клещи КС-6 конструкции ИЭС им. Е. О. Патона. Клещи предназначены для стыковой сварки алюминиевых проводов сечением 2,5—10 мм² и медных сечением до 4 мм². Зажимы рычажно-винтового типа. Четыре комплекта сменных вкладышей обеспечивают зажатие заготовок диаметром 1,7—3,6 мм. Средняя производительность 120 сварок за 1 ч. Усилие осадки 1200 кгс при усилии на рукоятке 20 кгс. Габаритные размеры 330 × 120 × 55 мм. Масса 1,5 кг.

С помощью клещей конструкции АН Латвийская ССР можно сваривать алюминиевую проволоку диаметром до 5 мм и медную диаметром до 3,5 мм. Минимальный диаметр свариваемых прутков 1,2 мм. Масса 2,5 кг.

Машины серии МСХС первого поколения предназначены для стыковой сварки заготовок сечением 0,8—1500 мм² (по алюминию). В серии четыре типоразмера: МСХС-0,8; МСХС-5-3; МСХС-20-3; МСХС-120-2. Машины выпускаются серийно. Длина свариваемых заготовок неограничена. Машина МСХС-0,8 имеет зажимы с пневмоприводом. Набор сменных вкладышей позволяет вести сварку заготовок разных сечений. Механизм осадки пневматический. Управление ручное.

Машина МСХС-5-3 имеет ручной эксцентриковый механизм замыкания зажимных губок. Усилие от штока пневмоцилиндра через разноплечий рычаг передается на подвижной зажим, перемещающийся по цилиндрическим направляющим. Зажимные губки сменные. Управление работой пневмоцилиндра ручное с помощью трехходового крана. Усилие осадки регулируется воздушным редуктором и контролируется по манометру. Машина снабжена специальным ножом с пневмоприводом для обрезки заготовок.

Машина МСХС-20-3 с гидроприводом. Гидростанция расположена внутри корпуса машины. Зажимные устройства клинового типа. Управление работой полуавтоматическое; вручную производят установку заготовок и съем готового изделия. Команда на сварку подается с пульта управления, расположенного на корпусе машины, через электроклапаны. Машина снабжена специальным резаком, приводимым в движение от гидроцилиндра. Сменные вкладыши обеспечивают сварку заготовок круглого, прямоугольного и фасонного сечений.

1. Техническая характеристика машин для стыковой сварки

Параметр	Для стыковой сварки									Для точечной сварки внахлестку				Для контурной сварки
	МСХС-0,8	МСХС-5-3	МСХС-20-3	МСХС-120-2	МСХС-801	К-419	К-598 *1	Машина полуавтомат *1	УТХС-5	МХСА-50-3	МТХС-120-01	МХСА-120	МХС-801
Сечение свариваемых заготовок, мм²: по меди	0,8—4	2—20	20—120	100—1000	6—40	25—40	26—120	До 30	—	—	1	1	1
по алюминию	0,8—7	2—30	20—200	100—1500	6—100	2,5—65	26—300	До 90	—	—	1	1	1
Максимальное сварочное усилие, тс	0,8	5	20	120		10	25	9,2	5	50	120	120	8
Максимальное раскрытие губок, мм	4	—	16	40	12	—	—	—	20	10	20	88	1
Тип привода силового механизма	Пневматический		Гидравлический						Пневмогидравлический	Гидравлический			
Производительность, сварок в 1 ч	150	До 200	До 200	60	—	—	—	До 300	—	300	До 100	До 300	1
Продолжительность цикла сварки, с	—	—	—	—	15	—	30	7	—	—	—	—	13
Управление работой машины	Ручное		Ручное кнопочное		Полуавтоматическое с двойной осадкой	Ручное	Полуавтоматическое		Ручное кнопочное	Педальное	Ручное кнопочное	Ручное золотниковое	Ручное кнопочное

Продолжение табл. 1

Параметр	Для стыковой сварки									Для точечной сварки внахлестку				Для контурной сварки
	МСХС-0,8	МСХС-5-3	МСХС-20-3	МСХС-120-2	МСХС-801	К-419	К-698*1	Машина полуавтомат*1	УТХС-5	МХСА-50-3	МТХС-120-01	МХСА-120	МХС-801
Потребляемая мощность, кВА	—	—	5,5	17	5,5	1,7	3	5,5	—	—	5,5	10	4
Напряжение сети 50 Гц, В	—	—	380	380	380	380/220	380/220	380/220	220	—	380	220/380	380
Давление сжатого воздуха в питающей магистрали, кгс/см²	4	5	—	—	—	—	—	—	5	5	—	—	—
Расход сжатого воздуха на выполнение 1 сварки, м³	0,001	0,005	—	—	—	—	—	—	0,01	0,0014	—	—	—
Масса, кг	35	62	700	2700	750	350	1290	1500	151	280	2500	1380	500
Габаритные размеры, мм:													
длина	400	485	1000	1670	1240	1050	1310	1700	890	430	1680	1200	1470
ширина	320	320	920	1350	915	940	1180	850	560	400	1000	680	1020
высота	320	320	1400	1700	1430	1040	1200	1580	600	680	1650	1730	1210

*1 Разработана в ИЭС им. Патона.

Машина МСХС-120-2 предназначена для сварки заготовок круглого и прямоугольного сечений. Привод механизма осадки и зажатия гидравлический. Механизм замыкания губок клинового типа. Наличие второго клина при сохранении малых габаритов всего механизма позволяет зажимать детали значительной толщины или диаметра. Второй клин используют при сварке деталей диаметром (толщиной) больше 20 мм для увеличения раскрытия губок. Усилие зажатия создается сдвоенным гидроцилиндром. Во время осадки работают оба цилиндра. Плоскость разъема губок для удобства укладки заготовок расположена наклонно. Осадка осуществляется от трех гидроцилиндров, установленных симметрично относительно оси свариваемых деталей. В нижней части корпуса машины расположена гидростанция. Усилие осадки контролируют по манометру. Конструктивно машина подобна машине МСХС-20-3. Управление работой зажимных устройств, включение в работу дополнительных клиньев, подача команды на сварку производятся кнопками с пульта управления, расположенного на корпусе машины. Внутри корпуса смонтированы электрогидроклапаны, бесконтактные конечные выключатели для регулирования расстояния между подвижной и неподвижной плитами. Остальные элементы системы управления смонтированы в отдельном шкафу. Сварочный цикл отрабатывается автоматически.

Недостатки первого поколения машин серии МСХС и других конструкций (подготовка торцов заготовок производится вдали от места сварки и наличие ручных операций) устранены в машине-полуавтомате МСХС-801 и полуавтомате конструкции ИЭС им. Е. О. Патона. Все рабочие движения в обеих машинах осуществляются от гидроцилиндров. Операции зажатия заготовок, обрезки концов, отвод механизма обрезки из зоны сварки, осадка, перехват заготовок в случае двойной осадки, удаление облоя и извлечение готового изделия производятся автоматически. Конструкция механизма осадки МСХС-801 заимствована у машины МСХС-120-2. Механизм зажатия клинового типа. В машине-полуавтомате ИЭС им. Е. О. Патона шток исполнительного гидроцилиндра осадки выполнен полым, что позволяет пропускать сквозь него заготовку. Механизм зажатия рычажного типа. Наладку машин на сварку заготовок различных размеров и конфигураций сечения производят путем замены вкладышей в зажимных механизмах и соответствующей настройкой отрезного устройства. Все элементы системы управления собраны внутри корпуса. Контроль усилия осадки — по манометру. Управление работой производится с пульта, расположенного на передней стенке машины.

Для выполнения стыковой сварки заготовок определенного типа создано специализированное оборудование. Машина МСХС-8002 предназначена для сварки медных колец (контактные кольца электрических двигателей, уплотнительные кольца пневмо- и гидросистем и др.) с наружным диаметром до 150 мм, изготовляемых из полосы сечением до 300 мм². Производительность до 120 сварок в 1 ч.

Особенностью конструкции является наличие выдвижного блока губок. Машину МСХС-4001 используют для сварки алюминиевых колец диаметром до 350 мм и сечением до 400 мм². Производительность до 180 сварок в 1 ч. Машина МСХС-2004 предназначена для сварки троллейных проводов (на базе серийной машины МСХС-20-3). Имеется выносной резак с гидроприводом. Производительность до 100 сварок в 1 ч. Два комплекта губок позволяют сваривать провода сечением 85 и 100 мм².

Оборудование для сварки внахлестку. В состав установок для холодной сварки внахлестку в общем случае входят:

— сварочный инструмент (пуансоны, ролики);
— прижимные плиты с механизмами их зажатия и раскрытия;
— направляющие для перемещения инструмента;
— пресс для создания рабочего усилия;
— аппаратура управления;
— вспомогательные механизмы для зачистки свариваемых поверхностей.

Устройство, объединяющее в себе сварочный инструмент, прижимные плиты с механизмами зажатия и раскрытия, направляющие для перемещения инстру-

мента, используемое в машине как самостоятельный функциональный узел, получило название штампа.

Сварка конкретных изделий в большинстве случаев требует создания индивидуального инструмента. Форма и конструкция инструмента зависит от выбранной схемы процесса и может представлять собой пуансоны различных конфигураций для точечной и контурной сварки, ролики для шовной сварки [3].

При конструировании инструмента следует руководствоваться следующими положениями. Наиболее рациональная форма сечения рабочего выступа инструмента для точечной сварки — круг или прямоугольник. Последняя форма предпочтительнее для сварки нагартованного алюминия, его сплавов, меди и меди с алюминием. Диаметр d рабочего выступа или его ширина b в случае прямоугольной формы должны составлять $(1 \div 3)\,\delta$, где δ — толщина свариваемого металла. Бо́льшие значения относятся к более тонкому металлу. Соотношение сторон в сечении прямоугольного инструмента порядка 1 : 5. При сварке разнородных материалов диаметр d или ширину b следует брать обратно пропорциональными твердости материалов. Площадь торца рабочего выступа пуансона составляет не менее 15% от его опорной части в случае использования ступенчатого пуансона. При сварке по схеме с предварительным зажатием заготовок площадь прижима должна быть в 15—25 раз больше рабочей площади торца пуансона, который выполняется в виде самостоятельной детали. Предварительное зажатие заготовок в монтажных условиях может осуществляться и между плитами, стягиваемыми болтами и имеющими калиброванные отверстия для пуансона. Высота рабочего выступа должна обеспечить необходимую степень деформации. По периметру торца рабочего выступа пуансона делается закругление с радиусом 0,2 мм во избежание разрушений свариваемого металла и образования резких концентраторов напряжений.

Для облегчения извлечения инструмента из свариваемой заготовки по высоте рабочей части пуансона предусматривается уклон 4—6°. В отдельных случаях многоточечная сварка может выполняться одной парой пуансонов с несколькими рабочими выступами. При шовной сварке диаметр ролика должен составлять 50 δ; ширина рабочего выступа $b \approx (1 \div 1{,}5)\,\delta$, ширина опорной части $(2—3)\,b$. Материал для изготовления пуансонов аналогичен материалу вкладышей и зажимных губок для стыковой сварки.

Для сварки внахлестку по схеме с предварительным зажатием применяют специальные штампы, конструкция которых обеспечивает деформирование металла пуансонами только после зажатия заготовок между двумя плитами. По окончании сварки система пружин производит размыкание плит и извлечение пуансонов из металла. Направляющие обеспечивают сохранение соосности пар пуансонов в процессе сварки. Для размещения в штампе заготовок предусматриваются специальные пазы (гнезда). Высоту пазов выбирают такой, чтобы при полном зажатии заготовок между плитами оставался гарантированный зазор 0,5 мм. Пример конструкции штампа, предназначенного для армирования алюминиевых шин медными накладками, представлен на рис. 1 [3]. Применять штампы удобно для выполнения многоточечных соединений.

Необходимое сварочное усилие, передаваемое на инструмент, создается с помощью пневмогидравлики и гидравлики. Как и в случае стыковой сварки, скорость деформирования не влияет на качество соединения и поэтому выбирается исходя из необходимости обеспечения заданной производительности. Принципиальное решение систем управления работой машин такое же, как у машин для стыковой сварки.

Машина УГХС-5-2 предназначена для точечной сварки алюминиевых пластин внахлестку толщиной до 5 мм. Она состоит из пневмогидравлического усилителя, смонтированного на передвижной тележке, и сварочных клещей, гидроцилиндр которых соединен гибким шлангом высокого давления с усилителем. Сварочное усилие регулируется воздушным редуктором и контролируется по манометру. Управление работой установки производится вмонтированной в клещи кнопкой, управляющей цепью питания электромагнита золотникового клапана.

Машина МХСА-50-3 предназначена для многоточечной сварки медных армирующих накладок толщиной до 1,5 мм с алюминиевыми токоведущими деталями (выводы обмоток, кабельные наконечники и т. д.). Максимальная площадь армирующего участка 60 × 60 мм. Машина состоит из пневмогидравлического усилителя, к корпусу которого прикреплена головка с штампом. Управление работой машины осуществляется с помощью педального золотникового пневматического клапана. Применение сменных штампов позволяет сваривать детали различной конфигурации и размеров.

Машина МХСА-120 имеет аналогичное с машиной МХСА-50-3 назначение, но с максимальной площадью армирования 120 × 120 мм.

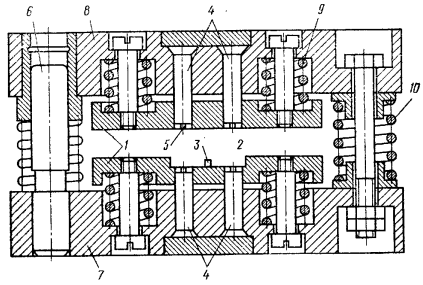


Рис. 1. Схема штампа для армирования алюминиевых шин медными накладками:

1 — прижимные плиты; *2* — окно для размещения свариваемых заготовок; *3* — выступ для центрирования заготовок; *4* — пуансоны; *5* — рабочий выступ пуансона; *6* — левая направляющая колонка; *7* и *8* — нижняя и верхняя основы штампа; *9* — пружины, обеспечивающие необходимое усилие предварительного зажатия заготовок; *10* — пружины для раскрытия штампа

Рабочее усилие создается гидроцилиндром. Гидростанция расположена в корпусе машины. Сменный штамп устанавливается на нижнюю подвижную плиту. Управление работой — ручное с помощью золотникового распределителя.

Машина МТХС-120-01 предназначена для многоточечной нахлесточной сварки алюминиевой фольги и ленты толщиной 0,08—0,8 мм при ширине 200—600 мм, а также для приварки к фольге шин и ленты сечением 3 × 40 мм из алюминия и сечением 3 × 30 мм из меди. Машина комплектуется двумя сменными штампами для сварки деталей шириной до 400 и 600 мм. В штампах расположены сменные многоточечные пуансоны, оформление рабочих выступов которых определяется размером свариваемой детали и пределами регулирования рабочего усилия. Имеется устройство для зачистки заготовок.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ ТРЕНИЕМ

В машинах для сварки трением эффект нагрева и создание условий для образования соединения обеспечивается относительным вращательным движением. В большинстве случаев в основу конструкции положена схема процесса с вращением одной заготовки и поступательным перемещением вдоль оси под действием сварочного усилия этой или второй заготовки.

Машины в общем случае имеют привод вращения с устройством для торможения шпинделя, механизмы создания рабочего (сварочного) усилия, перемещения заготовки и осадки, зажатия заготовки, станину, аппаратуру управления и контроля (рис. 2). В определенных случаях могут предусматриваться механизмы и устройства для торцовки заготовок, удаления грата, регулирования соосности свариваемых заготовок, автоматизации загрузки заготовок и съема готовых изделий и др.

Конструкция машин должна обеспечить: быстрое прекращение относительного вращения по окончании нагрева; автоматическую отработку заданного

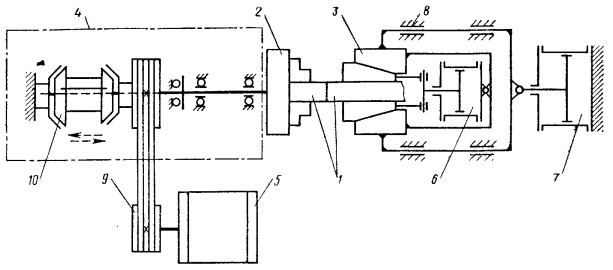


Рис. 2. Схема машины для сварки трением:
1 — свариваемые заготовки; *2* — вращающийся зажим; *3* — невращающийся зажим; *4* — передняя бабка; *5* — электродвигатель; *6* — исполнительный цилиндр механизма зажатия невращающейся заготовки; *7* — исполнительный цилиндр механизма давления; *8* — направляющие для осевого перемещения заготовки; *9* — клиноременная передача; *10* — устройство для прекращения относительного вращения заготовок

цикла сварки; возможность настройки на регламентацию процесса как по времени, так и по осадке; простоту настройки на заданный режим и переналадки на другой характер цикла сварки (рис. 3); хорошую воспроизводимость параметров режима; предотвращение проскальзывания в зажимах заготовок и их радиальное смещение; способность к восприятию больших механических нагрузок, в том числе вибраций; возможность замены зажимных устройств при переходе на сварку деталей другой конфигурации или размера; возможность размещения в рабочей зоне машины вспомогательных механизмов.

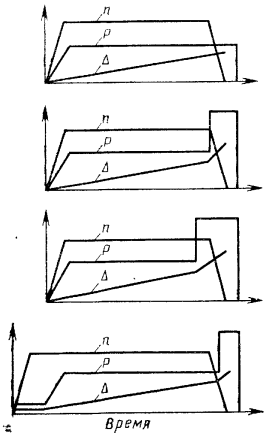


Рис. 3. Возможные циклограммы процесса сварки трением; *n* — скорость относительного вращения; *P* — осевое усилие; Δ — осадка

Привод шпинделя в большинстве машин электромеханического типа с передачей вращения от асинхронного двигателя через клиноременную передачу. Машины, как правило, односкоростные. Скорость выбирают такой, чтобы в пределах определенного диапазона свариваемых сечений можно было получить качественное соединение путем варьирования других параметров режима сварки.

Применение электромеханического привода позволяет получать относительно простые конструктивные решения машин, не приводит к большим пиковым нагрузкам электрической сети. Значительные моменты инерции вращающихся масс требуют использования специальных средств для торможения шпинделя после окончания нагрева. С уменьшением диаметра свариваемого сечения требования к динамическим качествам машины возрастают в связи с уменьшением доли участия момента трения, развиваемого в стыке между трущимися заготовками, в общем процессе торможения. Применяют две схемы прекращения относительного движения заготовок: 1) остановка с помощью тормоза или реверсированием электродвигателя всех вращающихся частей привода; 2) отключение шпинделя от постоянно вращающегося двигателя и последующее торможение шпинделя фрикционным тормозом. Первый вариант реализован в машинах первого поколения. Продолжительность работы электродвигателя в режиме реверса определяется с помощью реле контроля скорости (РКС) или реле времени, настраиваемом на определенную длительность реверсивного включения. Время торможения в этом случае составляет 0,1—0,4 с. Недостатком является перегрев обмоток двигателя при частых включениях. Некоторое снижение этого нежелательного явления может быть достигнуто уменьшением маховых масс вращающихся частей, выбором более низких скоростей вращения, постановкой крановых электродвигателей. Для машин высокой производительности, требующих частых пусков и выключений, этот способ менее удобен, чем при торможение по второму варианту, который заложен в конструкциях большинства современных машин и обеспечивает меньший тормозной путь («выбег»). В этом случае муфта сцепления и тормоз фрикционного типа сблокированы в одном узле. Тяжелые условия работы шпиндельного узла требуют постановки сдвоенных или строенных радиальных подшипников в сочетании с упорными или радиальных и радиально-упорных подшипников качения.

Для обеспечения необходимого сварочного усилия используют пневматический, гидропневматический и гидравлический приводы. Пневматические системы устанавливают на машинах с усилием до 5000 кгс, пневмогидравлические — при усилиях 5000—100 000 кгс, а при больших значениях — гидравлические. Настройка на режим производится с помощью редукторов давления.

Зажимные устройства воспринимают значительные крутящие моменты и осевые усилия в процессе нагрева и ковки. Максимальный крутящий момент может в 2—2,5 раза превышать момент в фазе установившегося трения. В процессе сварки возникают радиальные вибрации заготовок, осложняющие работу зажимов. Проскальзывание заготовок приводит к приварке их к рабочим поверхностям зажимных устройств. Конструкция зажимов должна обеспечивать центровку заготовок, возможность работы с заготовками из горячекатаного металла и переналадку на сварку заготовок различных форм и размеров.

Надежное закрепление заготовки при работе без упоров обеспечивается усилием, в 2,5 — 4 раза превышающем усилие осадки; это делает необходимым применение механического привода в зажимных устройствах. В случае использования упоров усилие может быть снижено в 1,5—2,0 раза. Использование токарных патронов не оправдало себя из-за их быстрого износа, необходимости применять значительные мускульные усилия, низкой производительности и невозможности автоматизировать весь процесс сварки.

Широкое применение в сварочных машинах получили самоцентрирующие устройства с принудительным зажатием заготовок: кулачковые — для вращающейся и призматические — для неподвижной заготовки. Универсальность этих зажимных устройств в определенном диапазоне диаметров обеспечивается комплектом сменных кулачков и призм. Конструкции допускают большие отклонения от номинальных размеров диаметра заготовок. Призматические зажимы позволяют производить загрузку заготовок сверху в плоскости разъема призм, легко автоматизировать вспомогательные операции, устанавливать дополнительные механизмы и приспособления для выполнения подготовительно-заключительных операций (суппорты для торцовки заготовок и удаления «воротника», формующие матрицы, загрузочные устройства), применять фигурные зажимные губки и призмы при сварке заготовок сложной формы. Длина неподвижной заготовки в этом случае практически неограничена. Станины машин выполняют повышенной жесткости коробчатой конструкции в сварном или литом исполнении. Внутри станины расположены элементы привода, пневмоаппаратура, мультипликаторы и другие механизмы. На станине смонтирована также панель управления.

Система управления работой машины обеспечивает автоматическое выполнение всего цикла сварки (на полуавтоматах). В некоторых случаях предусмотрено автоматическое выполнение подготовительно-заключительных операций: загрузка

и зажатие заготовок, удаление грата, съем готового изделия (на автоматах).

Заданный цикл сварки отрабатывается автоматически с помощью командных устройств, собираемых на элементах контактно-релейной автоматики. Настройка на режим производится предварительно путем регулирования редукторов давления, установкой осадки или времени нагрева. Необходимая закономерность изменения параметров процесса сварки обеспечивается определенной последовательностью срабатывания электроклапанов. Регламентация процесса может производиться по времени или по осадке. В большинстве случаев в машинах для сварки трением предусмотрена возможность выбора параметра регламентации в зависимости от конкретных условий сварки. Монтаж аппаратуры управления в отдельном шкафу позволяет избежать ложных срабатываний реле от вибраций машины в процессе нагрева и преждевременной остановки шпинделя.

Серия машин общего применения для сварки стыковых соединений заготовок круглого сплошного и трубчатого сечений, а также Т-образных соединений из сталей, цветных металлов и сплавов выпускается серийно на заводе литейного оборудования (г. Волковыск). Серия состоит из четырех машин. Диапазоны параметров рассчитаны исходя из режимов сварки низкоуглеродистой и низколегированных сталей. Давления проковки приняты равными 10 кгс/мм². Удельная мощность, потребляемая из сети, в расчете на единицу площади свариваемого сечения составляет 20 Вт/мм². Основные характеристики машин приведены в табл. 2. Для сварки материалов, требующих бо́льших давлений, машины этой серии можно применять, но максимальное свариваемое сечение будет меньше. Машины представляют собою полуавтоматы, в которых кроме загрузки заготовок и съема готовых изделий все сварочные операции производятся автоматически. Принципиальное решение конструкции всех машин одинаково; они предназначены в основном для использования в условиях массового и крупносерийного производства. Привод вращения шпинделя состоит из асинхронного двигателя, клиноременной передачи и фрикционной конической муфты сцепления. Машины односкоростные. Шпиндельный узел с механизмом для создания сварочного давления и перемещения вращающейся заготовки, механизм зажатия вращающейся заготовки, фрикционная муфта-тормоз, шкив клиноременной передачи собраны в корпусе передней бабки. Шпиндель останавливается автоматически после окончания процесса нагрева коническим фрикционным тормозом при размыкании муфты сцепления, связанной со шкивом клиноременной передачи. Тормозной путь («выбег») шпинделя не превышает 0,5 оборота.

Механизм для создания рабочего (сварочного) усилия пневмогидравлического типа. Машины снабжены мультипликаторами. Усилие при нагреве и проковке регулируется раздельно вручную при настройке на определенный технологический режим работы. Зажимные механизмы самоцентрирующие, обеспечивающие соосность свариваемых заготовок с точностью до 0,5 мм. Крепление невращающейся заготовки осуществляется в сменных призматических губках клиновых тисков, установленных жестко на станине.

Вращающийся зажим представляет собою трехкулачковый патрон со сменными кулачками, рассчитанными на узкий диапазон изменения диаметров заготовок (2—3 мм). Для обеспечения работы зажимного устройства во всем диапазоне диаметров свариваемых заготовок машина каждого типоразмера имеет четыре комплекта сменных кулачков. Эти кулачки используются при сварке заготовок сплошных сечений и толстостенных труб. В конструкции машины предусмотрена возможность модификации зажимных устройств при сварке заготовок, отличающихся по конфигурации от круглых сплошных стержней и толстостенных труб.

При сварке Т-образных соединений устанавливают специальную планшайбу на вращающемся зажиме с гнездом для размещения плоской заготовки. Задача фиксации этой заготовки от поворота решается в зависимости от особенностей ее геометрических параметров. В процессе сварки заготовка удерживается от выпадания за счет сварочного усилия. По окончании процесса сварки команда на раскрытие вращающегося зажима не подается. Цилиндрическая контрдеталь крепится в неподвижном зажиме. В случае сварки громоздких или массивных заготовок, не удобных для крепления на планшайбе, их закрепляют неподвижно, а цилиндрические заготовки — во вращающемся патроне.

Для сварки заготовок из материалов, сильно различающихся теплофизическими свойствами, на неподвижном зажиме может быть укреплена осадочная матрица. В обоих зажимах заготовки первоначально зажимаются с небольшим усилием. При подаче команды на сварку происходит окончательное зажатие с силой, пропорциональной сварочному усилию. Привод механизма зажатия — пневматический. Размер рабочей зоны между патроном и клиновыми тисками таков, что зазор между торцами заготовок составляет 5—15 мм и может регулироваться положением механизма для сварочного усилия. Полный ход поршня механизма перемещения заготовки 30 мм. Управление процессом сварки осуществляется автоматически. Элементы контактно-релейной автоматики вынесены в отдельный унифицированный для всех типоразмеров машин шкаф управления. На переднюю стенку и панель управления машины вынесены пусковые кнопки, манометры, регуляторы давления, осадки и времени сварки. Регламентация процесса может осуществляться как по времени, так и по осадке.

2. Техническая характеристика машин для сварки трением

Параметр	МСТ-23	МСТ-35	МСТ-41	МСТ-51
Диаметр заготовок, мм:				
свариваемых:				
минимальный	10	16	22	32
максимальный	25	36	50	70
трубчатых	32	39	52	75
дисковых	110	180	180	320
Длина заготовки, мм:				
вращающейся:				
минимальная	40	60	70	78
максимальная	680	500	980	1200
неподвижной:				
минимальная	50	60	70	70
максимальная	Неограничена			
Производительность, сварок в 1 ч	До 150	До 120	До 100	До 70
Частота вращения шпинделя, об/мин	1500	1000	750	500
Осевое сварочное усилие, кгс:				
при нагреве	500—2500	1000—5000	2000—10 000	4000—20 000
при проковке	5000	10 000	20 000	40 000
Время нагрева, с	10—20	10—30	15—45	20—50
Мощность электродвигателя привода шпинделя, кВт	10	22	40	75
Габаритные размеры, мм:				
длина	1820	1790	2130	2910
ширина	580	720	765	1110
высота	1250	1290	1350	1680
Габаритные размеры шкафа управления, мы:				
длина	470	470	470	470
ширина	400	400	400	400
высота	1006	1006	1006	1006
Масса, кг:				
машины	2000	2700	3600	5500
шкафа управления	85	85	85	85

Примечание. Время проковки 1,5—2 с; напряжение сети (при 50 Гц) 380 В; номинальное давление воздушной питающей сети 4,5 кгс/см².

3. Техническая характеристика машин новой серии, разработанных ВНИИЭСО

Параметр	МСТ-0401-ГД104	МСТ-2001-ГД-89	МСТ-2001-ГД-88	МСТ-6001	МСТ-12001
Диаметр свариваемых заготовок, мм:					
минимальный	8	16	16	32	60
максимальный	18	36	50	70	100
Диаметр заготовок (максимальный), мм:					
трубчатых	36	100	100	140	200
дисковых	64	180	180	300	360
Длина заготовки, мм:					
вращающейся:					
минимальная	35	95	95	100	200
максимальная	450	900	900	1500	1600
неподвижной:					
минимальная	50	100	100	300	300
максимальная	Не ограничена				
Установочный ход правого зажима, мм	200	385	385	600	800
Частота вращения шпинделя, об/мин	2000	1000	750; 1000	500	300
Осевое сварочное усилие, кгс:					
при нагреве	До 1250	До 10 000	До 10 000	До 20 000	До 45 000
при проковке	» 3 850	» 20 000	» 20 000	» 60 000	» 120 000
Мощность двигателя, кВт:					
привода шпинделя	5,5	22	40	75	75×2
гидропривода	3	5,5	5,5	17	10; 22
Габаритные размеры в плане машины с гидростанцией и шкафом управления, мм	1600× 1580	3100× 1950	3100× 1950	4000× 2150	7500× 3150

Примечание. Напряжение сети (при 50 Гц) 380 В.

Новая серия из пяти типоразмеров машин общего применения обладает расширенными технологическими возможностями. Диапазон диаметров свариваемых заготовок сплошных 8—100 мм, трубчатых 12—200 мм. Возможна приварка трубчатых и стержневых заготовок к дискам диаметром 60—360 мм. Техническая характеристика машин приведена в табл. 3.

Все функциональные узлы машин разных типоразмеров конструктивно подобны и выполнены в виде самостоятельных устройств с облегченным к ним доступом при обслуживании и ремонте. Диаметр проходного отверстия в шпинделе увеличен. Предусмотрена регулировка соосности заготовок. Механизм закрепления невращающейся заготовки установлен на ползуне, перемещающемся в осевом направлении (установочный ход), что позволяет размещать в рабочей зоне механизмы загрузки заготовок. Машины оснащены механизмами для снятия грата («воротника») и торцовки, что позволяет сваривать такие разнородные материалы, как алюминий и сталь. Предмусмотрена возможность установки формующей оправки для сварки заготовки с различными теплофизическими свойствами.

Машины наиболее распространенных типоразмеров (I—II) имеют одинаковую конструкцию корпуса. Машины комплектуют отдельно устанавливаемой гидростанцией и шкафом управления; они могут работать в наладочном, полуавтоматическом и автоматическом режимах. Завод-изготовитель машин, I II и III типоразмеров — гомельский станкостроительный завод им. С. М. Кирова, IV и V типоразмеров — краматорский завод тяжелого станкостроения им. Чубаря.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СВАРКИ

Ультразвуковые сварочные машины используют для выполнения нахлесточных соединений деталей малых толщин из алюминия, меди, никеля и других цветных металлов и сплавов в однородном и разнородных сочетаниях, из материалов, имеющих поверхностные искусственные пленки (оксидные лаковые), для сварки разнотолщинных заготовок. Особую группу оборудования составляют машины для сварки пластмасс. Кроме основного назначения они могут быть использованы для запрессовки металлических деталей в термопласты, интенсификации процесса полимеризации клеев, развальцовки заклепок из пластмасс. В зависимости от получаемого соединения и условий его выполнения различают машины для точечной и шовной сварки металлов. Машины для точечной сварки выполняют в виде стационарных установок, ручных и подвесных клещей, пистолетов. В зависимости от конструктивного оформления инструмента машины для точечной сварки пластмасс выполняют соединения по контуру или шовношаговую сварку.

В общем случае в состав установок для сварки металлов и пластмасс входят: генератор электрических колебаний, акустический узел, механизм давления, аппаратура управления и контроля за процессом, а также устройства для механизации и автоматизации вспомогательных операций. Акустический узел вклю-

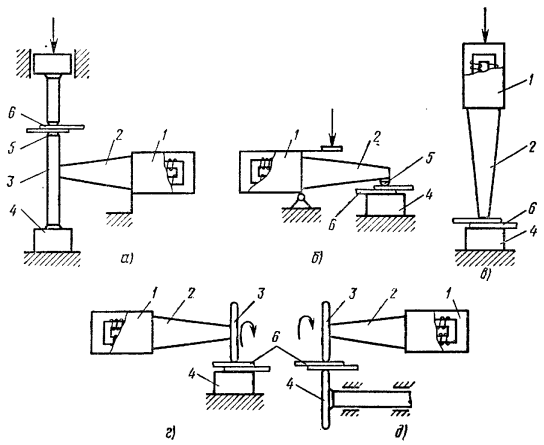


Рис. 4. Механические колебательные системы для точечной (*а*, *б*) и шовной (*г*, *д*) сварки, а также сварки пластмасс (*в*):

1 — преобразователь; *2* — волновод; *3* — резонансный стержень (диск); *4* — опора (плоская или диск); *5* — сварочный наконечник; *6* — свариваемые заготовки

чает в себя электромеханический преобразователь, волновод с резонирующими элементами, сварочный наконечник, обеспечивающий непосредственную передачу энергии к свариваемым заготовкам.

Варианты механических колебательных систем для точечной, шовной сварки металлов и для сварки пластмасс представлены на рис. 4. В колебательную систему могут входить элементы опоры и механизма давления, в которых возбуждаются колебания.

Источником механических колебаний являются электромеханические преобразователи, работа которых основана на использовании магнитострикционного или пьезоэлектрического эффектов. В большинстве случаев используют магнито-

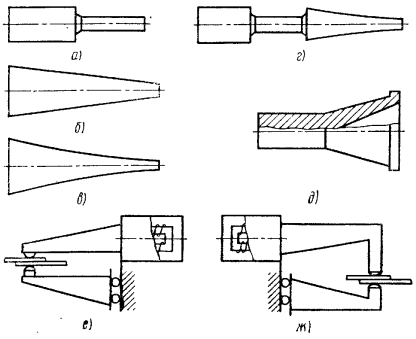


Рис. 5. Волновод: *а* — ступенчатый; *б* — конический; *в* — экспоненциальный; *г* — составной; *д* — полый; *е*, *ж* — примеры асимметричных волноводов

стрикционные преобразователи. Материалом для их изготовления чаще служит пермендюр (К49Ф2, К65), реже чистый никель, альфер (Ю14, Ю12), ферриты. При выборе материала учитывают не только магнитоэлектрические характеристики, но и паяемость, диапазон рабочих температур, усталостную прочность, антикоррозионные свойства. В серийно выпускаемых машинах используют пермендюр. Применять ферриты целесообразно в установках малой мощности (до 50 Вт).

В магнитострикционных преобразователях используют конструкции двухстержневого и, реже, одно- и трехстержневого типов. Обмотки возбуждения и подмагничивания располагают непосредственно на стержнях. Во избежание перегрева предусматривают принудительное водяное охлаждение магнитострикторa, для чего магнитострикторы помещают в специальном бачке. Маломощные преобразователи имеют воздушное естественное охлаждение. Передача колебательной энергии от электромеханического преобразователя к инструменту обеспечивается волноводом, который одновременно увеличивает амплитуду колебаний. В волноводах возбуждаются стоячие продольные волны. Основной характеристикой является коэффициент усиления амплитуды колебаний, определяемый отношением квадратов диаметров входного и выходного торцов волновода. Ступенчатые, конические и экспоненциальные волноводы (рис. 5) различаются коэффициентами усиления, технологичностью изготовления, диапазонами резонансных частот, эксплуатационной надежностью. Ступенчатые волноводы имеют максимальный коэффициент усилия, конические — минимальный. По широте диапазона резонансных частот выгодно отличаются экспоненциальные волноводы.

Для сварки по контуру применяют пустотелые волноводы. Применение асимметричных волноводов расширяет технологические возможности сварочной машины. Материалом для изготовления волноводов служат стали 45, 50, 40Х,

30ХГСА, титан, алюминиевые сплавы. Выбор материала определяется усталостной прочностью, гистерезистыми потерями, его паяемостью и свариваемостью. Длина волноводов равна целому числу полуволн. Резонирующие элементы (стержень, диск) выполняют из тех же материалов, что и волновод.

Конструктивное оформление сварочного наконечника, обеспечивающего передачу колебаний к свариваемым заготовкам, влияет на качество сварки. Его форма определяется характером и размерами свариваемых заготовок. Наиболее распространенные формы сварочных наконечников представлены на рис. 6. При работе машин может наблюдаться повышенный износ и даже растрескивание и выкрашивание металла на рабочей поверхности инструмента. Увеличения срока службы наконечников добиваются применением специальных материалов (сталей ШХ15, Р18, 45, сормайта), а также наплавкой электродами типа ЭА-925, ОЗИ-1, ЦН-2А и др.

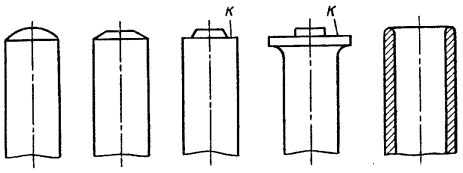


Рис. 6. Формы сварочных наконечников; *К* — обжимная кромка

Соединение между собой отдельных элементов механической колебательной системы производится с помощью пайки и сварки. Волновод припаивают к магнитострикционному преобразователю серебряными припоями типа ПСр 40, ПСр 45. При изготовлении машин мощностью до 1,5 кВт можно использовать оловянно-свинцовые припои (ПОС 40, ПОС 61); ферритовые стержни приклеивают. Волновод с резонансным стержнем или диском соединяют пайкой, а в машинах большой мощности — сваркой. В некоторых случаях удобно соединение на резьбе, что позволяет легко заменять сварочный инструмент. Однако при этом имеется опасность усталостного разрушения в месте сопряжения. Снижение вероятности разрушений достигается использованием мелких резьб, высокой точностью их обработки, обеспечением плавных переходов в резьбовых элементах. Хороший акустический контакт достигается затяжкой резьбы при работающем магнитострикторе. Пропайка резьбы легкоплавкими припоями улучшает условия работы узла, но осложняет смену инструмента.

Размеры всех элементов колебательной системы, соответствующие конкретной рабочей частоте, определяются на основании расчетов [36]; их нельзя менять произвольно. Источником питания магнитострикторов являются серийно выпускаемые для различных технологических целей ультразвуковые генераторы с независимым возбуждением, рассчитанные на частоты 18—44 кГц. Сварочное усилие в машинах создается пневмоприводом или пружиной. Настройка машин на конкретный режим включает: регулирование тока подмагничивания, сварочного усилия и продолжительности пропускания ультразвуковых колебаний. Для обеспечения работы акустического узла в резонансном режиме производится подстройка частоты. Продолжительность сварки задается с помощью электронного реле времени или механическим командным устройством. Регламентация процесса при сварке пластмасс может осуществляться также и по изменению суммарной толщины соединяемых заготовок под инструментом.

Машины для точечной и шовной ультразвуковой сварки металлов. Техническая характеристика машин приведена в табл. 4.

Машина МТУ-0,4-3 общего применения. Предназначена для точечной сварки цветных металлов (меди, алюминия, никеля и др.) толщиной до 0,2 + 0,2 мм. Построена по схеме с преобразованием продольных колебаний волновода в изгибные колебания резонирующего стержня. Акустический узел может перемещаться

4. Техническая характеристика машин для точечной и шовной ультразвуковой сварки

Параметр	Машины для точечной сварки				Машины для шовной сварки			
	КТУ-0,1У4		КТУ-1,5	МТУ-0,4-4, МТУ-0,4-3	МШУ-0,63	МШУ-1,5	МШУ-4
	ручные	подвесные					
Толщина свариваемых заготовок (из алюминия), мм	0,1	0,25	0,5	0,01—0,2	0,25	0,5	0,8
Мощность преобразователя, кВт	0,1	0,63	1,5	0,4—0,8	0,63	1,5	4,0
Рабочая частота, кГц	44 ±7,5%	22 ±7,5%	22 ±7,5%	22 ±7,5%	22 ±7,5%	22 ±7,5%	22 ±7,5%
Усилие сжатия свариваемых заготовок, кгс	До 5	До 30	15—120	8—80	До 60	До 150	До 250
Производительность: точек в 1 мин	До 60	До 60	До 60	До 60	—	—	—
м/мин	—	—	—	—	3,0	3,0	3,0
Тип источника питания преобразователя	УЗГ-2-0,4		УЗГ-5-1,6	УЗГ-5-1,6/22, УЗГ-1-0,6	—	—	—
Напряжение сети, В (50 Гц)	220		220/380	220/380	—	—	—
Число фаз	1		3	3	—	—	—
Привод механизма давления	Электромагнитный		Пневматический		—	—	—
Охлаждение	Воздушное		Водяное		—	—	—
Габаритные размеры, мм: длина	—	—	2200	1300	—	—	—
ширина	—	—	1260	620	—	—	—
высота	—	—	500	1430	—	—	—

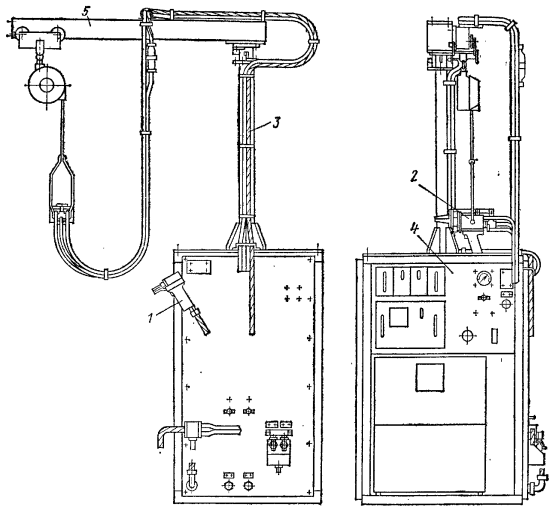


Рис. 7. Установка КТУ-0,1У4:
1 — ручные клещи; *2* — подвесные клещи; *3* — стойка; *4* — электрическое устройство; *5* — кронштейн

в горизонтальной плоскости с помощью специального пневмоцилиндра. Команда на срабатывание электропневмоклапана механизма давления и включение генератора производятся от типового регулятора цикла сварки при нажатии на педальную кнопку. Машина способна выдержать до 250 тыс. сварок без замены инструмента.

Клещи типа КТУ-1,5 предназначены для точечной сварки заготовок в монтажных условиях, например, деталей силовых конденсаторов. Выполнены в виде сварочной головки, подвешенной на Г-образом кронштейне. Волновод асимметричный. В корпусе машины размещен источник питания, регулятор времени, элементы пневмосхемы и вентили системы охлаждения. Команда на начало работы регулятора цикла сварки подается от кнопки, расположенной в рукоятке сварочной головки. Клещи выпускаются Калининградским заводом «Электросварка».

Установка типа КТУ-0,1У4 (рис. 7) предназначена для точечной сварки в условиях монтажа. Включает в себя ручные и подвесные клещи. Поворот опорной стойки на 180° и перемещение каретки, на которой закреплены подвесные клещи, обеспечивают большую маневренность в работе. Привод давления в ручных клещах — электромагнитный, в подвесных — пневматический. Внутри корпуса расположены источник питания, регулятор цикла сварки и блок питания привода давления.

Машины типов МШУ-0,63; МШУ-1,5; МШУ-4 предназначены для шовной сварки внахлестку меди, алюминия, **никеля и других цветных металлов толщиной 0,035—0,8 мм** в однородном и разнородных сочетаниях, **разнотолщинных заготовок, деталей, покрытых искусственными оксидными или лаковыми пленками.**

При выполнении сварки перемещается сама колебательная система. Аппаратура управления и источник питания смонтированы в специальном шкафу. Машины могут работать в автоматическом и наладочном режимах.

Особую группу оборудования составляют машины для точечной сварки деталей в микроэлектронике (приварка токоотводов к схемам, кристаллов к кристаллодержателям и т. п.). Для этих машин характерна малая мощность магнитострикторов (10—30 Вт), специфическая технологическая оснастка. Сварочное усилие составляет 20—250 гс. Вспомогательные операции (подача проволок в зону сварки, совмещение заготовок, обрезка и т. п.) в значительной степени автоматизированы. Каждый тип машины разрабатывают для сварки конкретного изделия.

Оборудование для сварки пластмасс. Функциональные узлы машин для сварки пластмасс аналогичны узлам установок для ультразвуковой сварки металлов. Отличие состоит в схеме ввода энергии колебаний в свариваемый материал; как правило, продольные колебания от инструмента передаются нормально к поверхности соединяемых заготовок. Амплитуда колебаний больше, чем при сварке металлов (до 50—70 мкм). Акустический узел может быть закреплен неподвижно в процессе сварки и является при этом опорой, но чаще он сопряжен с механизмом давления и одновременно несет функцию исполнительного элемента привода давления; опора в этом случае неподвижная. У серийно выпускаемых машин акустический узел расположен вертикально. Акустический узел или опора могут иметь дополнительно установочные движения для укладки заготовок и съема готовых изделий. Привод давления пневматический либо механический с дозировкой сварочного усилия с помощью регулируемой тарированной пружины. Регулирование продолжительности пропускания ультразвука осуществляется с помощью реле времени или регламентируется механическим командным устройством, сопряженным с механизмом давления. Машины различают по назначению, кинематическим схемам, степени автоматизации процесса. В табл. 5 приведена краткая техническая характеристика некоторых машин для сварки пластмасс.

Машина МТУ-0,4-У4 (см. табл. 4) предназначена для точечной сварки термопластов. Выполнена на базе машины МТУ-0,4-3 с соответствующими изменениями в расположении инструмента относительно изделия. Ее можно использовать для запрессовки металлических деталей в пластмассу, для развальцовки заклепок, интенсификации полимеризации клеев. Концентратор колебаний выполнен ступенчатым со сменной второй ступенью, что позволяет сваривать детали, различные по конфигурации, при установке соответствующего инструмента.

Машина МТУП-1,5 (см. табл. 5) предназначена для точечной сварки. Имеет расширенные технологические возможности. Состав установки аналогичен составу установки МТУ-0,4-4.

Автомат АУС-1,5 предназначен для сварки фильтров из лавсановой ткани. Заготовкой является трикотажная лента (рукав). Машина снабжена механизмом резки, работа которого включена в общий цикл работы автомата. Площадь торца сварочного наконечника-концентратора составляет 15 × 3 мм.

Машина УП-20 (конструкция МВТУ им. Н. Э. Баумана) предназначена для сварки изделий из термопластов точками, по линии и по замкнутому контуру. Механизм создания сварочного усилия пружинного типа. Подвод инструмента к детали — с помощью педали. Ультразвуковые колебания включаются от микровыключателя, срабатывающего при перемещении опоры. Путем предварительной настройки пружинного механизма к моменту срабатывания микровыключателя сварочное усилие достигает заданного значения. Система управления работой машины включает коммутирующие элементы, блок контроля резонанса, блок контроля качества сварки.

Полуавтомат УПК-15 (конструкция МВТУ им. Н. Э. Баумана) многопозиционный, служит для контурной сварки деталей из полиэтилена, поливинилхлорида и других термопластов. Свариваемые заготовки размещены в гнездах шестипозиционного стола, имеющего эпизодическое вращение от мальтийского креста.

5. Техническая характеристика машин для сварки пластмасс

Параметр	АУС-1,5	МТУП-1,5	УП-20	УПК-15
Мощность преобразователя, кВт	1,5	1,5	1,6	2—3
Рабочая частота, кГц	22 ±7,5%	22 ±7,5%	19,6	19
Усилие сжатия свариваемых деталей, кгс	До 45	До 40	До 50	1—70
Производительность, сварок в 1 мин	15	80	—	6—15
Продолжительность сварки одного изделия, с	—	—	0,5—5	0,05—16
Тип источника питания	УЗГ-5-1,6	УЗГ-5-1,6	УЗМ-1,5; УЗГ-1,6; УЗГ-2,5	УЗГ-2,5; УЗГ-4; УЗГ-6; УЗГ-10У
Напряжение сети, В (50 Гц)	220/380	220/380	220	220
Привод механизма давления	Пневматический	Пружинный		
Габаритные размеры, мм				
длина	990	—	520	655
ширина	540	—	520	945
высота	1640	—	1400	1400
Масса, кг	85	—	85	200

Примечание. Число фаз — три; охлаждение водяное.

Перемещение инструмента вместе с акустическим узлом осуществляетя кулачковым приводом. Механизм давления пружинного типа. Движение инструмента и стола осуществляется от одного двигателя. С помощью установочных винтов предусмотрена регулировка параллельности поверхностей опор рабочей поверхности торца инструмента. Продолжительность пропускания ультразвука регламентируется по суммарной толщине свариваемых заготовок в месте соединения.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ДИФФУЗИОННОЙ СВАРКИ

Диффузионной сваркой соединяют заготовки из разнообразных сплавов на металлической основе, а также керамики, графита, стекла, сапфира и других материалов в однородном и разнородном сочетаниях. Установки для диффузионной сварки в общем случае имеют рабочую вакуумную камеру, механизм для создания сварочного давления, источник нагрева, вакуумную систему, аппаратуру управления и контроля (рис. 8). Конкретные установки для диффузионной сварки могут иметь большое разнообразие конструктивного оформления отдельных функциональных узлов и систем. Рабочую вакуумную камеру, в которой размещены свариваемая заготовка, нагреватель, механизм давления, выполняют обычно цилиндрической или прямоугольной формы из коррозионно-стойкой стали. Стенки водоохлаждаемые. Для увеличения производительности предусматривают несколько камер с целью получения непрерывности процессов загрузки и выгрузки заготовок и изделий (камеры шлюзования), совмещения по времени отдельных операций цикла сварки (многокамерные установки карусельного типа) и т. д.

Необходимое сварочное усилие может создаваться с помощью гидравлического, пневматического или механического механизмов. В отдельных случаях сжатие заготовок обеспечивается специальными приспособлениями, принцип действия которых основан на различии коэффициентов линейного расширения материала свариваемых заготовок и стягивающих их элементов приспособления.

6. Техническая характеристика установок для диффузионной сварки

Параметр	СДВУ-50	СДВУ-40	СДВУ-32	СЖМ2-327	УДС-3	УДС-4	А308-21	А306-14	У-344
Размеры свариваемых заготовок, мм	200×250×400	⌀ 100×100	—	120×120×200	⌀ 50×100	—	—	⌀ 120×180	⌀ 40×80
Максимальная степень разрежения, мм рт. ст.	$5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-5}$—$6 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$—$1 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$
Механизм давления	Электромеханический	Рычажно-винтовой	Гидравлический	Рычажно-механический	—	—	—	Гидравлический	—
Сварочное усилие, кгс	До 3000	До 500	До 9000	50—10 000	20—1000	100—10 000	2—200	50—10 000	До 3000
Число позиций (штоков)	1	1	1	1	—	—	—	—	—
Нагреватель	Высокочастотный	Радиационный		Высокочастотный			—	Электронно-лучевой	Радиационный
Максимальная температура °С	1500	1200	1500	1100	1500	1500	1200	—	2000
Марка генератора	ЛЗ-2-67	—	ЛЗ-2-67	И1060.083	ЛЗ-2-67	ЛЗ-2-67		—	—
Размеры камеры, мм	320×345×500	⌀300×320	⌀320×345×500	⌀250×400	280×280×280	500×400×600	—	⌀490×480	—
Число камер	1	1	1	1	2	—	1—2	—	—
Производительность, цикл/ч	—	—	—	2	—	—	—	—	—
Мощность (без генератора), кВА	4	4	8	6	7	10	—	32 *	—
Габаритные размеры установки (без генератора), мм:									
длина	1050	950	2700	1550	1040	1550	1600	1780	2725
ширина	720	750	1500	1000	2200	2650	1360	1730	1345
высота	2250	1660	2250	2110	1950	2100	1940	2100	2485
Масса установки (без генератора), кг	520	390	950	1450	—	—	2000	—	—

* Мощность всей установки.

Для нагрева заготовок наибольшее распространение получили индукционный, радиационный и контактный способы. Источниками питания являются генераторы высокой частоты и трансформаторы. Расчет индукторов производится по известным методикам [29]. Принципиальное построение вакуумной системы зависит от рабочего вакуума, числа камер, требуемой производительности сварочного оборудования. Различают установки с низким (до 10^{-2} мм рт. ст), средним (до 10^{-3}—10^{-5} мм рт. ст.) и высоким вакуумом (больше 10^{-5} мм рт. ст). В некоторых случаях возможно ведение процесса сварки при пониженном давлении защитных газов. Расчет и конструирование вакуумных систем производится по общепринятым методикам [24]. Большинство установок для диффузионной сварки имеют руч-

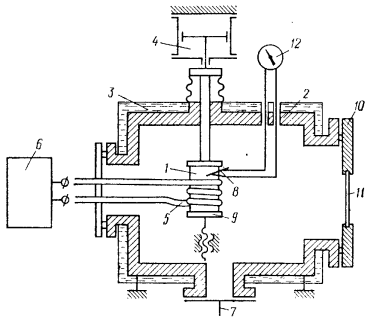


Рис. 8. Схема установки для диффузионной сварки:
1 — свариваемая заготовка; *2* — вакуумная камера; *3* — система охлаждения; *4* — механизм давления; *5* — нагреватель; *6* — источник питания нагревательного устройства; *7* — фланец вакуумной системы; *8* — датчик измерения температуры; *9* — опора; *10* — загрузочный люк; *11* — смотровое окно; *12* — пирометр

ное или полуавтоматическое управление. В последнем случае сварочный цикл автоматизируется с помощью специальных программных устройств.

Установки для диффузионной сварки комплектуют в основном нормализованными узлами и приборами. В установках общего применения специально проектируют только рабочую камеру и нагреватель. Характеристика некоторых универсальных установок приведена в табл. 6.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МИКРОПЛАЗМЕННОЙ СВАРКИ

Микроплазменной ручной и автоматической сваркой соединяют заготовки малых толщин (от нескольких десятков микрометров), из различных материалов — сталей, алюминиевых и магниевых сплавов. Оборудование применяют также для прецизионной наплавки микродеталей, для заварки микродефектов и как источник тепла при пайке. Аппараты для микроплазменной сварки имеют источник питания дуги, сварочную горелку (плазмотрон), баллоны для плазмообразующего и защитного газов, аппаратуру для контроля и регулирования расхода газов, систему водяного охлаждения горелки.

Технологические возможности аппаратов для микроплазменной сварки определяются диапазоном регулирования сварочных токов и варьированием режимов работы источника питания. Различают четыре типа режимов: непрерывный при прямой полярности; импульсный; разнополярный и непрерывный при обратной полярности. При сварке металлов и сплавов, не образующих тугоплавких окисных пленок, работа ведется на непрерывном или импульсном режимах при прямой полярности. Импульсная дуга целесообразна при сварке особотонкостенных изделий, материалов, содержащих легко испаряющиеся компоненты, при сварке

7. Техническая характеристика аппаратов для микроплазменной сварки

Параметр	МПИ-3	МПИ-	МПУ-4	МПУ-5
Толщина свариваемого материала, мм	0,05—1,0	0,05—1,3	0,05—1,0	До 3
Диапазон сварочных токов, А:				
на прямой полярности	0,5—18	0,5—26	2,5—30	20—100
на обратной полярности	—	0,5—10	4—11	10—50
Режим работы источника питания	Импульсный	Непрерывный, импульсный разнополярный		
Длительность импульса тока и паузы, с	—	—	0,02—0,5	0,03—0,5
Частота импульсов, Гц	50; 25; 17; 13	50; 25	—	—
Длина дуги при устойчивом горении, мм	0,5—8	0,5—6	Не менее 3 мм при прямой полярности; не менее 2 мм при обратной полярности	3—6
Расход газа, л/мин:				
плазмообразующего	0,2—0,8	0,2—0,8	0,2—0,3	0,2—0,8
защитного	2—5	2—8	2—6	2—8
Мощность, кВА	0,8	1,6	3,5	6
Напряжение сети, В (при 50 Гц)	220	220	220/380	220/380
Число фаз	1	1	3	3
Габаритные размеры, мм:				
длина	480	480	790	800
ширина	365	480	565	600
высота	140	214	1140	1400
Масса, кг	12	27	300	400

металлокерамики и при необходимости уменьшения коробления деталей. Сварка легких металлов и сплавов ведется на разнополярном режиме. При этом ток прямой полярности больше. В качестве плазмообразующего газа используют аргон. Защитный газ — гелий, смеси гелия с аргоном, аргона с водородом. Малогабаритные микроплазменные горелки оснащают электродами из лантонированного вольфрама ∅ 1—1,5 мм. Зажигание дуги с помощью осциллятора. Все элементы аппаратов, кроме горелки и баллонов с газами, монтируют в одном корпусе. На панели управления сосредоточены средства настройки, режима контроля и управления работой аппарата. Техническая характеристика серийных аппаратов общего применения, разработанных в ИЭС им. Е. О Патона для микроплазменной сварки приведена в табл. 7 Техническая характеристика горелки Об1160А конструкции ИЭС им. Е. О. Патона следующая:

Толщина свариваемых материалов, мм	0,05—1,2
Максимальный сварочный ток, А, не более:	
при прямой полярности	33
при обратной полярности	12
Диаметр вольфрамового электрода, мм	0,8; 1,0, 1,2
Давление защитного и плазмообразующего газа, кгс/см², не более	0,5
Расход плазмообразующего газа при давлении 0,2 кгс/см², л/мин	0,15—0,2
Расход защитного газа при давлении 0,5 кгс/см², л/мин	3—9
Напряжение питания дежурной дуги при холостом ходе, В, не более	80
Ток дежурной дуги, А	» » 65
Давление воды в охлаждающей системе, кгс/см²	» » 4
Размеры горелки без подводящего шланга, мм	108×130
Масса горелки, кг	0,5

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ

Общие сведения. Электронно-лучевая сварка (ЭЛС) основана на превращении кинетической энергии ускоренных электронов в тепловую при их торможении на поверхности и в глубине свариваемого материала. С помощью ЭЛС свариваются детали из тугоплавких и химически активных металлов, узлы электронных приборов, крупногабаритные изделия ответственного назначения, толстолистовые конструкции из сталей и легких сплавов, преимущественно в энергетическом и транспортном машиностроении, и др.

Под термином установка принято понимать полный комплект аппаратуры, устройств и приборов, необходимый для выполнения всех сварочных и вспомогательных операций. Установки для ЭЛС состоят из двух основных комплексов — энергетического и электромеханического.

К энергетическому комплексу относится аппаратура, предназначенная для формирования пучка электронов с заданными параметрами и управления его мощностью и положением относительно свариваемого стыка. Соответственно в состав энергетического комплекса входят электронно-лучевая пушка, высоковольтный источник питания, системы управления и контроля. Основные параметры энергетического комплекса определяются толщиной и теплофизическими характеристиками свариваемых материалов, а также требованиями к коэффициенту формы проплавления.

Электромеханический комплекс установки предназначен для герметизации и вакуумирования рабочего объема, выполнения всех сварочных, установочных и транспортных перемещений свариваемого изделия и электронно-лучевой пушки, выполнения вспомогательных операций и управления всеми этими процессами. В его состав входят сварочная камера, откачная система, сварочные манипуляторы, системы наблюдения, устройства подачи присадочных материалов, вспомогательные устройства и механизмы, а также системы управления этими механизмами и устройствами.

Классификация электронно-лучевых сварочных установок. Принятая классификация этих установок приведена на рис. 9.

По степени защиты металла шва от воздействия атмосферных газов все установки делятся на три класса: 1) установки для сварки в высоком вакууме $1 \cdot 10^{-4}$—$1 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст. и ниже; 2) установки для сварки в промежуточном вакууме $1 \cdot 10^{-1}$—$1 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст.; 3) установки для вневакуумной сварки. Класс установки определяет основные элементы ее электромеханического комплекса, а также параметры энергетического блока. Каждый класс установок в свою очередь делится на группы в зависимости от габаритов свариваемых деталей и области применения, а группы делятся на подгруппы по степени специализации.

Большинство современных отечественных установок относятся к первому классу, т. е. предусматривают сварку в высоком вакууме. Установки для сварки в промежуточном вакууме и установки для вневакуумной сварки в СССР пока используют только в лабораторных условиях. Принципиальные схемы, типичные конструкции и технические данные таких установок приведены в литературе, указанной в конце главы и в настоящей работе рассматриваться не будут.

Энергетический комплекс электронно-лучевых сварочных установок. Сварочная пушка, электронно-оптическая система которой формирует пучок электронов с заданными параметрами, является одним из основных рабочих органов установок для электронно-лучевой сварки. По уровню ускоряющего напряжения сварочные пушки подразделяются на низковольтные ($U_{уск}$ = 10—30 кВ), с промежуточным ускоряющим напряжением ($U_{уск}$ = 40—60 кВ) и высоковольтные ($U_{уск}$ = 100—200 кВ).

Основные типы электронно-оптических систем сварочных пушек приведены на рис. 10. Наиболее широко в сварочных пушках применяется комбинированная (электростатическая и электромагнитная) фокусировка (рис. 10, *б*), а в высоковольтных пушках большой мощности в СССР чаще других применяются каскад-

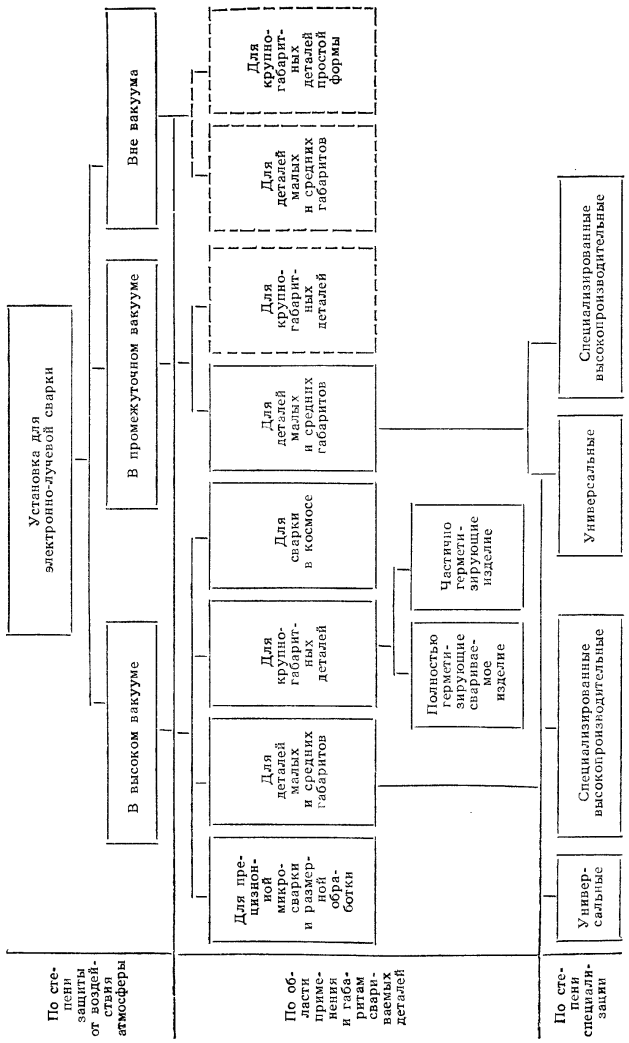


Рис. 9. Классификация установок для электронно-лучевой сварки

ные пушки, т. е. с ускорением заряженных частиц в ускорительной трубке с однородным электрическим полем, расположенным вдоль ее оси (рис. 10, *г*). Техническая характеристика современных отечественных сварочных электронных пушек приведена в табл. 8.

Низковольтные пушки с комбинированной системой фокусировки. Среди этих пушек можно отметить малогабаритные пушки А852.18, А306.05, А852.04 и А852.19, которые применяют для прецизионной сварки и сварки деталей малых толщин в электронной промышленности. Более мощные пушки типа У530М и УЛ119 этого же класса являются универсальными и используются как в стационарном варианте, так и в перемещаемом внутри камеры.

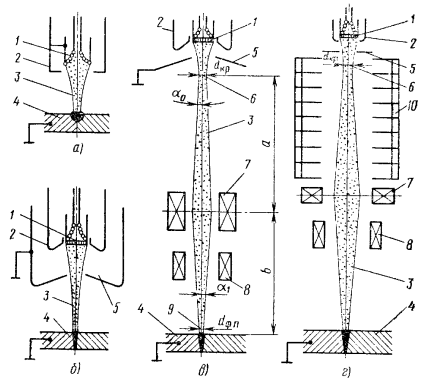


Рис. 10. Электронно-оптические системы сварочных пушек:
а — однокаскадная без ускоряющего электрода; *б* — однокаскадная с ускоряющим электродом (анодом); *в* — комбинированная — с электростатической и электромагнитной фокусировкой; *г* — с ускорительной трубкой; *1* — катод; *2* — прикатодный электрод; *3* — траектории крайних электронов пучка; *4* — свариваемая деталь; *5* — ускоряющий электрод (анод); *6* — кроссовер; *7* — фокусирующая магнитная линза; *8* — система отклонения пучка; *9* — фокусное пятно; *10* — ускорительная трубка; α_0 — половинный угол расхождения пучка после кроссовера; α_1 — половинный угол сходимости пучка на изделии; $d_{кр}$ — диаметр кроссовера; $d_{ф.п}$ — диаметр пятна в фокусе

Пушки с промежуточным ускоряющим напряжением. В основу пушек ИЭС им. Е. О. Патона и ЦНИИТмаша с промежуточным ускоряющим напряжением заложен триодный прожектор с лантанборидным катодом и электронным подогревом. Ленточный танталовый нагреватель W-образного профиля с переменным сечением и ребрами жесткости обеспечивает стабилизацию удельной плотности энергии в пятне нагрева.

Пушки типа ЭП НИАТа стационарные и имеют незначительные различия. В отличие от ЭП-60; ЭП-60М и ЭП-60/2,5 пушка ЭП-60/10М позволяет производить сварку не только в постоянном, но и в импульсном режиме.

Высоковольтные пушки. Пушка типа У752 обеспечивает получение сварочных электронных пучков мощностью 60 кВт и более. Пушку ЭЛУРО разработки НИИ «Орион» используют для микросварки и размерной обработки.

Система электропитания сварочных электронных пушек. К числу основных требований, предъявляемых к системам электропитания сварочных пушек, относится плавное регулирование в широких пределах ускоряющего напряжения, стабильность этого напряжения, ограничение тока пучка при пробое межэлектродного промежутка сварочной пушки, простота в управлении и безопасность в работе.

Техническая характеристика наиболее распространенных в отечественной промышленности источников питания: У250А, У819, У820, У821, У862 (ИЭС им. Е. О. Патона) и источников ИВ-25/4, ИВ-60/4 и ИВ-60/15 (НИАТ) для электронно-лучевой сварки — приведена в табл. 9.

Аппаратура для управления положением пучка электронов. Перемещение луча сварочной пушки по заданному контуру в плоскости изделия наиболее часто вы-

8. Техническая характеристика отечественных сварочных электронных пушек

Индекс пушки	Ускоряющее напряжение, кВ	Ток пучка, мА	Диаметр пятна, мм	Характеристика пушки	Особенности системы электропитания	Назначение
Низковольтные						
А852.18	20	100	0,4	Комбинированная электростатическая и электромагнитная фокусировка. Триодный прожектор с лантаноборидным катодом, нагреваемым излучением спирали. Металлокерамический паяный изолятор. Сборка прожектора контактной сваркой	Источник встроен в корпус установки. Кенотронный выпрямитель. Модуляция пучка	Прецизионная сварка деталей электронной промышленности
А306.05 А852.04 А852.19	25	200	0,4	Комбинированная электростатическая и электромагнитная фокусировка. Триодный прожектор. Катод лантаноборидный. Нагрев катода излучением спирали	Кенотронный выпрямитель, $p \approx 2\%$. Модулятор, $\Delta I/I \approx 2\%$	Сварка деталей малых толщин в электроинои промышленности
У530М и ее модификации	30	500	0,2 (50 мА); 0,6 (500 мА)	Прожектор цилиндрического типа, комбинированная электростатическая и электромагнитная фокусировка. Катоды лантаноборидный, танталовый и др.	Источник питания У250А; $\Delta U/U \leqslant 1\%$. $\Delta I/I \leqslant 5\%$; $p \approx 2\%$. Импульсная модуляция, автоматический вывод кратера, кенотронный выпрямитель, масляная изоляция трансформаторов	Для универсальных установок со стационарными и перемещаемыми пушками
УЛ119	30	1000	0,8—1,5	Прожектор цилиндрического типа, комбинированная электростатическая и электромагнитная фокусировка. Катоды лантаноборидный, танталовый и др.	Источник питания У250А; $\Delta U/U \leqslant 1\%$; $\Delta I/I \leqslant 5\%$; $p \approx 2\%$. Импульсная модуляция, автоматический вывод кратера, кенотронный выпрямитель, масляная изоляция трансформаторов	Для универсальных установок со стационарными и перемещаемыми пушками
С промежуточным ускоряющим напряжением						
ЦЭП-2 **ЦЭП-4**	**40**	**800** **1000**	**1—2**	С неразъемным металлокерамическим узлом и унифицированным корпусом для дифференциальной откачки	Типа У250 У670 и др.	Сварка в условиях серийного производства
ЦЭП-3 ЦЭП-4А ЦЭП-5	60	1000	1—2	С разъемным катодным узлом и байонетным соединением электродов	Типа У250, У670 и др.	Для универсальных установок и сварки с локальным вакуумированием
УЛ141	60	1000	0,8—1,5	Прожектор цилиндрического типа, комбинированная электростатическая и электромагнитная фокусировка. Катод лантаноборидный	Типа У250, У670 и др.	Однопроходная сварка металлов больших толщин
ЭП-60 ЭП-60М ЭП-60/2,5 ЭП-60/10М	60	35 45 170	$\leqslant 0,6$	Комбинированная электростатическая и электромагнитная фокусировка, прожектор сферического типа. Катод ленточный	Источник ИВ-60/4, ИВ-60/15 с масляной изоляцией. Селеновый выпрямитель $\Delta I/I \leqslant 5\%$	Для универсальных установок со стационарными и перемещаемыми пушками
Высоковольтные						
У752	60/120	1000/500	0,5	Каскадная пушка с ускорительной трубкой и объемным делителем напряжения. Катод — лантаноборидный, танталовый с электронным нагревом	Масляная изоляция. Кремниевые выпрямители, питающая сеть 50 Гц. Обратная связь между I и $U_{уск}$	Однопроходная сварка металлов больших толщин
ЭЛУРО	100	10	0,01	Комбинированная электростатическая и электромагнитная фокусировка, прожектор триодный с V-образным катодом. Аксиальное наблюдение (80Х). Юстировка механическая	$\Delta U/U \leqslant 2\%$ за 5 мин $\Delta I/I \leqslant 1\%$ за 5 мин	Микросварка и размерная обработка

Примечание. В таблице приняты следующие обозначения: $U_{уск}$ — ускоряющее напряжение; I — ток пучка, $\Delta U_{уск}$ — отклонение ускоряющего напряжения от номинального значения; ΔI — отклонение тока пучка от номинального значения; $\Delta U_{уск}/U_{уск}$ — относительная нестабильность высоковольтного питающего устройства; $\Delta I/I$ — относительная нестабильность тока пучка; $p = \frac{U_{\sim}}{U_0} 100\%$ — коэффициент пульсаций, где $U_{\sim}$ — амплитудное значение переменной составляющей выпрямленного напряжения; U_0 — постоянная составляющая выпрямленного напряжения.

9. Техническая характеристика источников питания для ЭЛС

Параметр	У250А	У819	У820	У821	У862	ИВ-25/4	ИВ-60/4	ИВ-60/15
Напряжение сети, В	380	380/220	380/220	380/220	380/220	380	380	380
Диапазон ускоряющих напряжений, кВ	22—30	50; 60; 70	60	120	120	0—25	0—60	0—60
Номинальный ток нагрузки, мА	450	500	1000	500	1000	160	65	250
Номинальный ток накала, А	0,1—15	0,04	0,04	0,04	0,04	15	15	35
Номинальное рабочее напряжение накала катода, В	1000 при $I_н = 0{,}1$ А; 20 при $I_н = 15$ А	800—900 при $I_н = 0{,}05$ А	800—900 при $I_н = 0{,}05$ А	800—900 при $I_н = 0{,}05$ А	800—900 при $I_н = 0{,}05$ А	10 при $I_н = 15$ А	12 при $I_н = 15$ А	15 при $I_н = 35$ А
Импульсная модуляция тока пучка:								
Гц	1—200	1—200	1—200	1—200	1—200	1	1	1
мс	1—50	1—50	1—50	1—50	1—50	1	1	0,8
Управляющее напряжение, кВ	0,05—3	0,05—3	0,05—3	0,05—3	0,05—3	1	1	1
Габаритные размеры (длина×ширина×высота), мм	1700×1200×1600	2100×1200×800	2100×1200×800; 1120×800×1200—2 шт.; 520×740×1600	2100×1200×800; 1120×800×1200—2 шт.; 520×740×1600	2100×1200×800; 1120×800×1200—2 шт.; 520×740×1600	820×575×1175	906×906×1025	1355×1006×1560
Масса, кг	1800	4600	4600	4600	4600	450	700	850

Примечание. $I_н$ — ток накала катода.

полняется с помощью устройств, использующих принцип развертки луча магнитным полем. В большинстве случаев такое управление положением пучка выполняется вручную. С развитием ЭЛС появились системы автоматического управления этими процессами. Траектория луча в автоматических системах управления определяется программирующим устройством. В зависимости от типа программирующего устройства все системы автоматического управления можно разделить на две основные группы: электромеханические и электронные. Примером электромеханических могут служить системы для круговой развертки пучка электронов, основанные на известном в радиолокации принципе механического вращения отклоняющей системы. В электронных системах развертка пучка электронов по контуру осуществляется путем подачи в четырехполюсную отклоняющую электромагнитную систему напряжений в аналоговой или цифровой форме. На этом принципе работают как простейшие функциональные устройства, так и специализированные программно-управляемые цифровые вычислительные комплексы. Примером функционального устройства, позволяющего перемещать пучок сварочной пушки по круговой траектории, являются созданные в ИЭС им. Е. О. Патона приборы типа Об1287М и Об1709. Указанные приборы обеспечивают сварку кольцевых швов диаметром от 2 до 35 мм в диапазоне круговых частот 0,01—1000 об/с и используются для вварки труб в трубные доски, герметизации реле и т. п. Отличительной особенностью прибора Об1709 является наличие вторичной эмиссионной обратной связи, что позволяет наводить пучок на стык с высокой точностью.

Наиболее полное использование возможностей электронной системы управления положением пучка в сочетании с достаточно простой и надежной аппаратурой управления достигается в устройствах телевизионного копирования изображения. Эти устройства широко применяют в установках для микросварки и размерной обработки материалов. Более универсальными являются цифровые системы программного управления, у которых исходная информация о параметрах режима сварки и контур обработки задаются в виде цифрового кода. Несмотря на сложность в эксплуатации и высокую стоимость, они нашли применение для управления ЭЛС благодаря эксплуатационной гибкости и высокой точности отработки программы.

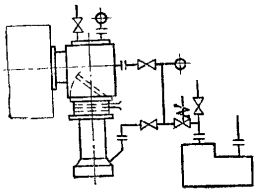
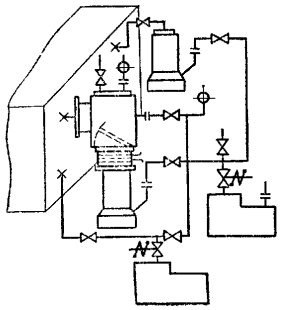
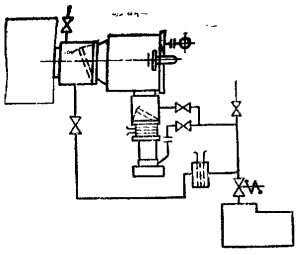
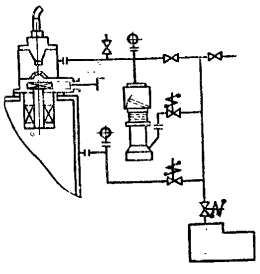
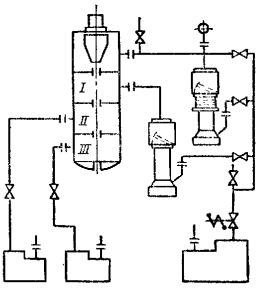
Электромеханический комплекс электронно-лучевых сварочных установок. В состав электромеханического комплекса может входить большое число разнообразных механизмов и устройств. Рассмотрим важнейшие из них.

Сварочные камеры. Наиболее широкое распространение в конструкциях промышленных установок ЭЛС получили цилиндрические и прямоугольные камеры. Для камер цилиндрической формы, широко применяющихся в вакуумной технике, характерны устойчивость форм при воздействии равномерно распределенных внешних нагрузок, возможность изготовления из цельнотянутых труб, технологичность. Прямоугольные камеры более универсальны. В них удобнее увеличивать габариты основной камеры в нужном направлении путем пристыковки к свободным граням дополнительных секций и применять сменные узлы и механизмы. Такие камеры позволяют более полно использовать их внутренний объем. К недостаткам прямоугольных камер относится повышенная трудоемкость изготовления, необходимость в увеличенной толщине стенок и их оребрение из условий допустимых деформаций. Применение прямоугольных камер тем более целесообразно, чем разнообразнее форма и габариты деталей, которые необходимо сваривать на данной установке.

Откачные системы. Откачные системы служат для создания и поддержания в процессе выполнения сварки рабочего давления (вакуума) в сварочной камере и электронной пушке. Они состоят из средств откачки, коммутирующих элементов, вакуумопроводов и средств измерения давления. Наиболее распространенные схемы откачных систем установок для ЭЛС приведены в табл. 10.

Сварочные манипуляторы. Предназначены для сварочных, установочных и транспортных перемещений свариваемой детали и сварочной пушки. Манипулятор свариваемой детали является непременным элементом любой установки ЭЛС,

10. Схемы откачных систем установок для ЭЛС

Номер схемы	Схема откачной системы	Предельный вакуум	Средства откачки	Применение
I		$1 \cdot 10^{-6}$ мм рт. ст. (уплотнения резиновые)	Высоковакуумный агрегат типа АВП. Форвакуумный насос типа НВЗ	В установках для ЭЛС в высоком вакууме
II		$1 \cdot 10^{-6}$ мм. рт. ст. (уплотнения резиновые)	Высоковакуумный агрегат типа АВП. Бустерный насос типа БН. Форвакуумный насос типа НВЗ	Для откачки больших объемов св. 20 м³
III		$1 \cdot 10^{-6}$ мм рт. ст. (уплотнения резиновые) $1 \cdot 10^{-8}$ мм. рт. ст. (уплотнения металлические)	Высоковакуумный насос типа ЭДТ, ГИН или НОРД. Высоковакуумный агрегат типа АВП для откачки инертных газов. Форвакуумный насос типа НВЗ	Для безмасляной откачки
IV		$1 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст. (в районе катодного узла электронно-лучевой пушки) $1 \cdot 10^{-1}$—$1 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст. (в сварочной камере, уплотнения резиновые)	Высоковакуумный агрегат типа АВП. Форвакуумный насос типа НВЗ	Для сварки в промежуточном вакууме
V		$1 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст. (в районе катодного узла электронно-лучевой пушки) $1 \cdot 10^{-2}$—$1 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст. (в зоне *I*) $1 \cdot 10^{-1}$—$1 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст. (в зоне II) 1—5 мм рт. ст. (в зоне III)	Высоковакуумный насос типа АВП. Бустерный насос типа БН или РВН. Форвакуумный насос типа НВЗ	При выводе электронного пучка в атмосферу инертных газов

а манипулятор пушки используется только в тех случаях, когда в конструкции установки применена пушка, перемещаемая внутри вакуумной камеры. В промышленности нашли распространение манипуляторы двух типов: универсальные с большим числом степеней свободы и специализированные. Применение универсальных манипуляторов целесообразно при единичном и мелкосерийном производстве. При серийном и массовом производстве специализированные манипуляторы позволяют получить максимальный эффект.

Устройства подачи присадочного материала. Электронно-лучевая сварка в большинстве случаев выполняется без присадочного материала. В необходимых случаях наибольшее распространение получили устройства для подачи присадочного материала в виде проволоки. К числу основных требований, предъявляемых к данным устройствам, относится высокая точность подачи проволоки в зону сварки и стабильность скорости подачи проволоки.

Промышленные установки для электроно-лучевой сварки в высоком вакууме. Большинство отечественных промышленных установок предназначены для электронно-лучевой сварки в высоком вакууме. Поэтому рассмотрим только эти установки.

Установки для микросварки и размерной обработки. Под микросваркой понимают соединение деталей с толщиной стенки от 100 Å до 2 мм и металлических выводов толщиной 0,05—0,3 мм с контактными площадками печатных плат и микросхем.

Особенностью установок для микросварки и размерной обработки является применение преимущественно высоковольтных энергетических комплексов (до 200 кВ), формирующих электронные пучки диаметром 0,01—0,1 мм при токах 1—100 мА и с высокой стабильностью параметров. Из разработок ИЭС им. Е. О. Патона в этой области можно отметить следующие установки.

Установка У496 имеет сварочную камеру 600×400×300 мм, которая откачивается до рабочего давления $5 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст. за 10 мин, двухкоординатный стол с пределами перемещений 200×250 мм и систему программного управления типа ПРС-3к перемещениями двухкоординатного стола. Высоковольтный источник питания (50 кВ ± 1%) выполнен по симметричной схеме умножения с питанием от высокочастотного лампового генератора. Сварочная пушка с встроенной системой наблюдения формирует пучок диаметром 0,01 мм при токе пучка в импульсе до 5 мА. Установку используют в комплекте с вычислительной машиной «Электра-13» для приварки контактов микросхем и сварки контактов микроразъемов. Производительность установки при сварке контактов интегральных схем — до 100 контактов в минуту. Погрешность положения пучка до 0,1%.

Установка У672 предназначена для прошивки отверстий в ферритах и микросварки термопластов в массовом производстве. Она имеет энергетический комплекс с ускоряющим напряжением до 80 кВ и нестабильностью 0,1%, током в импульсе до 5 мА и диаметром пучка до 0,01 мм. Сварочная камера размером 600×350×400 мм откачивается до давления $1 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст. за 8 мин. Двухкоординатный стол с пределами перемещений 120×180 мм управляется программной системой «Контур-3м». По технологическим возможностям установка может быть использована также для сварки металлов толщиной 0,1—2,0 мм, резки и фрезерования различных материалов.

Установка У512 предназначена для сварки и размерной обработки тонких пленок, засветки фоторезиста при изготовлении металлизированных фотошаблонов интегральных микросхем. Энергетический комплекс выполнен по каскадной схеме умножения напряжения (до 180 кВ). Долговременная стабильность ускоряющего напряжения составляет 1%, ток пучка до 2 мА, диаметр пучка 0,015 мм. Камера установки размером 450×350×350 мм откачивается до рабочего давления $1 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст. за 15 мин. Двухкоординатный стол имеет пределы перемещений 100×100 мм. Установка работает в комплекте с вычислительной машиной «Электра-13».

Установка У601 работает при ускоряющем напряжении 50—200 кВ, токе пучка до 2 мА и диаметре пучка порядка 0,01 мм. Она предназначена для микросварки и размерной обработки полупроводниковых гибридных микросхем. Вакуумная камера размером 400×400×250 мм откачивается до давления $5 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст. за 10 мин. Двухкоординатный стол обеспечивает перемещение изделия по площади 48×48 мм с точностью ±0,05 мм. Установка снабжена устройством программного управления.

Сумским заводом электронных микроскопов для электронно-лучевой микросварки и размерной обработки серийно выпускается установка типа ЭЛУРО. Электронная пушка установки работает при ускоряющем напряжении 50, 75 и 100 кВ и токе пучка до 10 мА. Минимальный диаметр пучка при этом составляет 0,01 мм. Нестабильность ускоряющего напряжения при токе пучка до 4 мА составляет 0,1% за 15 мин. За это же время нестабильность тока фокусирующей линзы составляет 0,01%. Установка может работать как в непрерывном, так и в импульсном режимах. В последнем случае длительность импульсов регулируется в пределах 20 мкс — 60 мс, а период повторения — в пределах 0,33—1000 мс. Обрабатываемую деталь устанавливают на прецизионном двухкоординатном столе, который перемещает ее в двух взаимно перпендикулярных направлениях на 150—200 мм с точностью 0,003—0,005 мм. Управление этими перемещениями выполняется с помощью программного устройства.

Универсальные установки для сварки деталей малых и средних габаритов. Это самая многочисленная группа разнообразных по конструкции и назначению установок. Их используют как для сварки различных малогабаритных деталей, так и для крупных деталей и узлов. Среди разработок ИЭС им. Е. О. Патона к рассматриваемым малогабаритным установкам с прямоугольными камерами относятся следующие установки.

Установку У616 используют в электронном приборостроении. Техническая характеристика установки приведена в табл. 11.

Наиболее крупным зарубежным поставщиком малогабаритных установок с энергетическим комплексом мощностью до 3 кВт является фирма «Вентгейт» (Великобритания). Установки с более крупными камерами снабжены, как правило, более мощными энергетическими комплексами (10—25 кВт), что позволяет выполнять однопроходную сварку стали толщиной 15—20 мм. В числе таких установок можно отметить следующие.

Универсальная установка У212М имеет прямоугольную камеру и комплектуется сменными манипуляторами: вращателем для сварки кольцевых швов с вертикальной осью вращения; вращателем для сварки кольцевых швов с горизонтальной осью вращения; двухкоординатным столом для сварки прямолинейных швов в горизонтальной плоскости. Мощность энергетического комплекса 13,5 кВт. Техническая характеристика установки приведена в табл. 11.

Установка У358 создана на базе установки У212М. Предназначена для сварки токсичных материалов. Установка снабжена дополнительными устройствами (бокс-шлюзом и форкамерой), которые предохраняют обслуживающий персонал от токсичных паров, газов и пыли, выделяющихся в процессе сварки и подготовки изделия к выгрузке. Техническая характеристика установки приведена в табл. 11.

Установка У570 работает на ряде машиностроительных заводов. Она также имеет прямоугольную камеру и предназначена для сварки более крупных деталей по сравнению с рассмотренными выше установками. Позволяет сваривать прямолинейные и кольцевые швы в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Универсальные установки А306.12 и А306.13 применяют в приборостроительной промышленности. Первая установка предназначена для сварки малогабаритных деталей в непрерывном, импульсном и моноимпульсном режимах. Камера установки размером 350×350×350 мм откачивается до давления $2 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст. за 10-12 мин. Сварочная пушка работает при ускоряющем напряжении до 20 кВ и токе пучка до 100 мА. При этом минимальный диаметр пучка составляет 0,4 мм. Установка А306.13 имеет камеру размером 500×500×500 мм, которая также откачивается до рабочего давления $5 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст. за 10—12 мин. Сменные манипуляторы позволяют сваривать круговые швы диаметром до 240 мм, прямолинейные швы длиной до 160 мм и кольцевые швы диаметром до 120 мм. Многоместный ма-

11. Техническая характеристика установок для ЭЛС, разработанных ИЭС им. Е. О. Патона

Параметр	У616	У212М	У358	У570	УЗМ2	У401	У350	УЛ106	УЛ110	У736
Наибольшие размеры свариваемых изделий, мм: при сварке кольцевых швов (диаметр×длина)	40×120	250×290	250×290	500×900	300×400	350×500	2700×4000	1400×2500	1600×2800	800×4000
при сварке продольных швов	—	200	200	900	400	450	4000	2500	2800	4000
Тип электронной пушки	У720	У530М	У530М	УЛ119	У530М	У530М	У752	У530М	У530М	УЛ119
Число пушек в установке	1	1	1	1	1	1	3	1	2	2
Скорость сварки, м/ч	10—50	10—100	10—100	10—100	10—80	10—100	10—100	10—100	10—100	10—100
Время откачки до рабочего вакуума, мин	5	8—10	8—10	12—15	12—15	15	35	25	30	30
Габаритные размеры вакуумной камеры (длина×ширина×высота — для прямоугольных камер, внутренний диаметр×длина — для цилиндрических камер), мм	200×200×200	600×600×600	600×600×600	1200×1200×1200	510×1320	650×1500	4000×6500	3060×2550×2750	3600×3600×4000	5000×2000×1780
Расход охлаждающей воды, л/ч	150	300	300	500	300	350	5000	3500	5500	4000
Габаритные размеры установки (длина×ширина×высота), мм	1700×800×1550	3050×2800×2300	5200×2800×2300	3950×3900×2000	3250×3900×2500	4000×3500×3200	17 400×9500×5200	13 600×5350×3850	12 000×7000×4770	6000×4700×2000
Масса, кг	850	4100	5600	5200	4500	5200	65 000	25 000	35 000	30 000

Примечание. Ток пучка у установки У350 1000 мА, ускоряющее напряжение 60 кВ; у всех остальных установок ток пучка 450 мА; ускоряющее напряжение 30 кВ; рабочий вакуум в камере $5 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст.

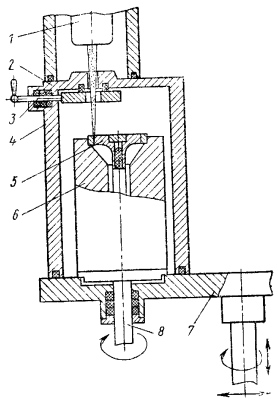


Рис. 11. Установка повышенной производительности типа У454:

1 — сварочная пушка; *2* — анод; *3* — затвор; *4* — сварочная камера; *5* — клапан двигателя внутреннего сгорания; *6* — контейнер; *7* — поворотный стол; *8* — вал механизма вращения контейнера

нипулятор позволяет сваривать 12 деталей диаметром до 60 мм за одну откачку камеры. Обе установки имеют модификации, в том числе для работы в автоматическом режиме с программным управлением.

Установка УЗМ2 имеет цилиндрическую вакуумную камеру. Установка предназначена для сварки кольцевых швов в вертикальной и горизонтальной плоскостях и прямолинейных швов в горизонтальной плоскости. Комплектуется сменным манипулятором с двухкоординатным столом либо 12-шпиндельными барабанами с горизонтальной или вертикальной осями вращения. При необходимости установка может быть снабжена прибором типа «Прицел-2» для совмещения пучка со свариваемым стыком, механизмом подачи присадочной проволоки и др. Техническая характеристика установки приведена в табл. 11.

Установка У401 имеет камеру несколько большего диаметра, чем камера установки УЗМ2. Двухкоординатный стол установки имеет перемещение вдоль камеры на 780 мм и поперек на 160 мм. Вращатели обеспечивают сварку кольцевых швов в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Техническая характеристика установки приведена в табл. 11.

В промышленности широко используют установки серии ЭЛУ. Основные параметры этих установок приведены в табл. 12.

Установка ЭЛУ-4 кроме универсальных манипуляторов для сварки кольцевых и продольных швов имеет многопозиционный манипулятор с цанговыми зажимами для групповой загрузки однотипных деталей.

Установка ЭЛУ-5 по конструкции подобна предыдущей, но имеет камеру несколько больших размеров. Снабжена механизмом подачи присадочной проволоки.

Установка ЭЛУ-6 предназначена для сварки кольцевых швов на изделиях типа труб. Она представляет собой спаренную вакуумную камеру с двумя автономно управляемыми пушками. Откатные тележки с 30-позиционными поворотными барабанами работают попеременно.

Установка ЦЭЛС-2 разработана в ЦНИИТмаше и ИЭС им. Е. О. Патона. Предназначена для сварки пакетов лопаток регулирующих колес и диафрагм паровых турбин. Сварочная камера (диаметр 1600 мм, длина 1650 мм) снабжена 24-позиционным поворотным манипулятором и перемещающейся внутри камеры пушкой типа У530М. Максимальный диаметр свариваемых швов до 1200 мм, длина до 1100 мм. Максимальная глубина проплавления 40 мм. Скорость сварки 5—30 м/ч.

Из зарубежных разработок для сварки изделий малых и средних габаритов представляет интерес гамма установок фирмы Сиаки (Франция), состоящая из установок 556, 456, 610, 533-2, 543, гамма установок VX фирмы Сиаки (США), а также установки фирмы Штейгервальд Штральтехник (ФРГ) и др. Техническая характеристика установок фирмы Сиаки приведена в табл. 13.

Специализированные установки для сварки изделий малых и средних габаритов. В универсальных установках время выполнения сварки при загрузке одного изделия в камеру составляет примерно 2—3% от времени цикла работы установки. Повышение производительности в специализированных установках для сварки

12. Техническая характеристика установок для ЭЛС серии ЭЛУ

Параметр	ЭЛУ-4	ЭЛУ-5	ЭЛУ-6	ЭЛУ-8	ЭЛУ-9	ЭЛУ-9А	ЭЛУ-9Б	ЭЛУ-9КУ	ЭЛУ-10	ЭЛУ-11	ЭЛУ-13
Наибольшие размеры свариваемых деталей, мм:											
при сварке кольцевых швов (диаметр × длина)	200×400	200×2000	20×2500	650×1000	650×700	800×1250	800×900	800×900	1700×2200	2000× ×2600	3000× ×4500
при сварке торцовым швом в горизонтальной плоскости (диаметр × × высота)	250×150	150×400	—	550×100	550×100	800×500	800×100	800×100	1600×600	1800×600	2200× ×1500
при сварке продольных швов	400	400	—	700	700	750	900	900	—	1000	1400
Тип электронной пушки	ЭП-60	ЭП-60	ЭП-60	ЭП-60/2,5	ЭП-60/2,5	ЭП-60/2,5	ЭП-60/2,5	ЭП-60/2,5	ЭП-60/2,5	ЭП-60/2,5	ЭП-60/10М
Максимальная мощность в луче, кВт	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	10
Число пушек в установке	1	1	2	2	1	3	2	2	1	1	2
Тип источника питания	ИВ-60/4-1	ИВ-60/4-1	ИВ-60/4-2	ИВ-60/4-2	ИВ-60/4-1	ИВ-60/4-2	ИВ-60/4-2	ИВ-60/4-2	ИВ-60/4-1	ИВ-60/4-1	ИВ-60/15
Скорость сварки, м/ч	5—150	2—150	5—50	5—100	5—100	5—100	5—100	5—100	5—100	5—100	5—100
Габаритные размеры вакуумной камеры (внутренний диаметр×длина), для ЭЛУ-13 (длина×ширина×высота), мм:											
основной	700×1200	—	—	1150×2650	1150×1650	1750×2400	1350×2500	1600×1950	2300×4100	2850× ×6000	10 000× ×3 400× ×5 400
дополнительный	—	—	—	—	770×1000	1150×750; 770×750	950×900	800×750	—	—	—
Расход охлаждающей воды, л/ч	400	400	700	700	700	1400	700	1400	7600	11 000	16 000
Габаритные размеры установки (длина×ширина×высота), мм	3500× ×3000× ×2500	6000× ×3000× ×2500	12 870× ×4140× ×2140	4900× ×3900× ×2575	4900× ×3900× ×2400	5700× ×4350× ×3200	6600× ×3900× ×3000	5480× ×4400× ×3100	11 000× ×7 500× ×4 200	15 700× ×8 000× ×4 500	24 000× ×9 500× ×8 000
Общая установленная мощность установки, кВт	15	18	20	18	18	36	18	32	62,5	110	160
Масса (без шкафов управления и вакуумной станции), кг	3000	3500	10 540	6000	5900	10 600	8650	9180	21 000	48 500	90 000

Примечание. Ускоряющее напряжение у всех установок 60 кВ; рабочий вакуум в камере $5 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст.

конкретных изделий достигается применением устройств для совмещения загрузочных операций со сваркой, загрузочных систем бункерного и кассетного типа, шлюзовых систем, а также благодаря автоматизации и программированию сварочного процесса и вспомогательных операций.

Установка У454 (рис. 11) разработана в ИЭС им. Е. О. Патона. Сварочная пушка установлена в малогабаритной камере, которая имеет в нижней части отверстие с герметичным затвором. Под камерой расположен трехпозиционный поворотный стол с гнездами для закрепления свариваемых изделий. Гнезда выполнены таким образом, что после загрузки изделия свободный объем сварочной камеры минимален и может быть откачан до рабочего давления за 20—40 с. После загрузки поворотный стол подает изделие под пушку и поднимает его до упора в нижнюю плоскость камеры пушки. Производится откачка сварочной камеры, после чего открывается затвор между пушкой и изделием и выполняется сварка.

Из зарубежных известны установки фирмы Сиаки (Франция) типа BE 34-646, двухпозиционная установка отделения «Гамильтон Стандарт» фирмы Юнайтед Эйркрафт (США), фирмы Гереус (ФРГ) и др.

В ИЭС им. Е. О. Патона разработана установка УЛ138, предназначенная для сварки охлаждаемых поршней тракторных двигателей. Основой установки является поворотный стол с гнездами для закрепления свариваемых изделий. Уплотнитель поворотного стола прижат с регулируемым усилием к неподвижной плите, на которой закреплены сварочная пушка и патрубки вакуумных насосов. Подача (шлюзование) изделия на позиции предварительной откачки, сварки и выгрузки производится поворотом стола, причем трубопроводы вакуумных насосов и луче-провод сварочной пушки при этом герметично перекрываются вакуумным уплотнителем.

Установки для сварки крупногабаритных изделий. Особенностью установок этой группы является универсальность. Они снабжены как низковольтными энергетическими комплексами (30 кВ, 10—25 кВт), которые используются для сварки металлов малых и средних толщин, так и мощными высоковольтными (до 150 кВ, до 120 кВт) энергетическими комплексами для однопроходной сварки металлов больших толщин.

Установка У350 имеет цилиндрическую камеру. На установке можно сваривать кольцевые швы в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Установка имеет низковольтную сварочную пушку У530М, перемещаемую внутри камеры.

Установки УЛ106 и УЛ110 имеют прямоугольные камеры. Сварочные пушки этих установок перемещаются внутри камер в различных пространственных положениях. В установке УЛ106 предусмотрена возможность дополнительной установки пушки мощностью до 60 кВт.

Установка У736 имеет камеру объемом 20 м³ сложной формы. Манипулятор сварочной пушки выполнен в виде П-образного портала, опирающегося на жесткое основание камеры.

13. Техническая характеристика универсальных установок для ЭЛС изделий малых и средних габаритов фирмы Сиаки (Франция и США)

Тип	Размеры камеры, мм			Параметры пушки			Перемещения							
							Пушка				Изделие			
	Длина	Высота	Ширина	Мощность, кВт	Ускоряющее напряжение, кВ	Ток пучка, мА	X	Y	Z	W	X	Y	Z	W
556	600	600	600	3	30	100			+	+				+
456	650	650	650	3	30	100			+	+				+
616	500	925	540	7,5	30	210	+		+			+		+
536-2	1300	1100	600	7,5	30	210		+	+					+
543	1630	1300	850	30	30 60	1000 500		+	+		+			+
VX30×20×30	760	760	510	7,5	30	250		+	+	+	+			
VX30×20×48	1200	760	510	7,5	30	250		+	+		+			+
VX30×30×48	1200	760	760	7,5	30	250		+	+		+			+
VX50×30×42	1070	1070	760	15	30	500		+	+		+			+
VX54×50×54	1375	1375	1270	15 30	30 60	500 500	+		+			+	+	+
VX68×46×68	1700	1700	1170	15 30	30 60	500 500	+		+			+	+	+
VX62×55×55	1575	1400	1400	15 30	30 60	500 500	+		+			+	+	+

Примечание. В таблице приняты следующие обозначения: *X* — продольное перемещение; *Y* — поперечное перемещение; *Z* — вертикальное перемещение; *W* — вращение относительно продольной оси

Техническая характеристика установок ЭЛУ-8, ЭЛУ-9, ЭЛУ-9А, ЭЛУ-9Б, ЭЛУ-9КУ, ЭЛУ-10, ЭЛУ-11 и ЭЛУ-13 для ЭЛС крупногабаритных изделий приведена в табл. 12.

Из зарубежных разработок наибольший интерес представляют установки типа 731 фирмы Сиаки (Франция), установки фирмы Сиаки (США), а также установки фирмы Штейгервальд Штральтекник.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Аверин И. В., Кабанов Н. Н.** Сварка трением в инструментальном производстве, М., Машгиз, 1962. 72 с.
2. **Аппарат** для микроплазменной сварки МПИ-5 (ИЭС)/Д. А. Дудко, В. С. Гвоздецкий, В. Е. Склярович, Э. И. Шилков. — Автоматическая сварка, 1976, № 1, с. 72—73.
3. **Баранов И. Б.** Холодная сварка пластических металлов. М., Машиностроение, 1969. 206 с.
4. **Вавилов А. Ф., Воинов В. П.** Сварка трением. М., Машиностроение, 1964. 154 с.
5. **Билль Б. И.** Сварка металлов трением. М., Машиностроение, 1970. 174 с.
6. **Волков С. С., Орлов Ю. Н., Астахова Р. Н.** Сварка и склеивание пластмасс. М., Машиностроение, 1972. 128 с.
7. **Волков С. С., Орлов Ю. Н., Черняк Б. Я.** Сварка пластмасс ультразвуком. М., Химия, 1974. 263 с.
8. **Горелка** микроплазменная ОБ—1115К. — Автоматическая сварка, 1973, № 3, 47 с.
9. **Импульсная** микроплазменная сварка на постоянном и переменном токе/ В. С. Гвоздецкий, Б. И. Шнайдер, Н. М. Воропай и др. — Автоматическая сварка, 1975, № 2, с. 39—42.
10. **Источник** питания МПРИ-1 (А-1390) для импульсной микроплазменной сварки постоянным и переменным током. — Информационное письмо ИЭС им. Е. О. Патона, 1970, № 47 (654) 3 с.
11. **Кабанов А. Н., Кафафов А. А., Михайловский Г. А.** Эксплуатационные характеристики установки ЭЛУРО. — Автоматическая сварка, 1967, № 3, с. 72—73.
12. **Казаков Н. Ф.** Диффузионная сварка материалов. М., Машиностроение, 1976. 310 с.
13. **Казаков Н. Ф., Жуков В. В.** Оборудование диффузионной сварки. М., Машиностроение, 1973. 236 с.
14. **Конюшков Г. В., Копылов Ю. П.** Диффузионная сварка в электронике. М., Энергия, 1974. 167 с.
15. **Клещи** КТУ — 1,5 для точечной ультразвуковой сварки/Ю. В. Холопов, М. П. Зайцев, А. С. Смирнов и др. — Сварочное производство, 1971, № 6, с. 59—60.
16. **Малогабаритный** источник питания МПИ-3 для импульсной микроплазменной сварки/Д. А. Дудко, В. С. Гвоздетский, Б. И. Шнайдер и др. — Информационное письмо ИЭС им. Е. О. Патона, 1971, № 60 (719). 3 с.
17. **Машина** для ультразвуковой сварки металлов типа МТУ-0,4-3Ю. В. Холопов, М. П. Зайцев, А. С. Смирнов и др. — Сварочное производство, 1970, № 5, с. 47—48.
18. **Машина** типа МТУ-0,4-4 для ультразвуковой сварки металлов и пластмасс/ Ю. В. Холопов, А. С. Смирнов, А. М. Миркин — Сварочное производство, 1972, № 5, с. 47—48.
19. **Назаренко О. К., Истомин Е. И., Локшин В. Е.** Электронно-лучевая сварка. М., Машиностроение, 1966. 128 с.
20. **Новое** в сварке трением. Экспресс-информация. Украинский научно-исследовательский институт научно-технической информации и технико-экономических исследований Госплана УССР, серия 9, Сварочное производство. вып. 3. 16 с.
21. **Оборудование** для импульсной электронно-лучевой сварки/Е. П. Демин и др. — Автоматическая сварка, 1969, № 8, с. 55—58.
22. **Оборудование** для электронно-лучевой сварки/А. И. Чвертко, О. К. Назаренко, А. М. Святский и др. — Киев, Наукова думка, 1973. 408 с.
23. **Ольшанский Н. А., Шубин Ф. В.** Оборудование для электронно-лучевой сварки металлов. М., Энергия, 1967. 96 с.
24. **Основы** вакуумной техники/Б. И. Королев, В. И. Кузнецов, А. И. Пипко, В. Я. Плисковский. М., Энергия, 1975. 414 с.
25. **Сварочное** оборудование. Каталог-справочник. Отв. ред. А. И. Чвертко. Киев. Наукова думка, 1968, ч. 2. 388 с.
26. **Сварочное** оборудование. Каталог-справочник. Отв. ред. А. И. Чвертко. Киев. Наукова думка, 1972, ч. 3. 196 с.
27. **Сварочное** оборудование. Каталог-справочник. (ИЭС имени Е. О. Патона) Киев, Наукова думка, 1968, ч. II, с. 242—252.
28. **Сварочное** оборудование. Каталог-справочник, (ИЭС им. Е. О. Патона) Киев, Наукова думка, 1972, ч. III, с. 184—191.
29. **Слухоцкий А. Е.** Закалочные индукторы. М., Машгиз, 1957. 54 с.
30. **Стройман И. М.** Холодная сварка металлов и ее промышленное применение, ВНИИЭСО, 1973. 18 с.

31. **Стройман И. М., Воробьев Ю. А.** Новое оборудование для холодной сварки. — Автоматическая сварка, 1976, № 10, с. 50—52.
32. **Типаж** электронно-лучевых сварочных пушек/Б. Е. Патон, О. К. Назаренко и др. — Автоматическая сварка, 1973, № 12, с. 34—41.
33. **Ультразвуковая** микросварка/А. А. Грачев, А. П. Кожевников, В. А Лебига, А. А. Россошинский, М., Энергия, 1977. 184 с.
34. **Универсальный** источник питания МПУ-5/Б. И. Шнайдер, В. А. Троицкий, В. А. Корицкий и др. — Информационное письмо ИЭС им Е. О Патона, 1974, № 49 (886). 4 с.
35. **Установки** и аппаратура для электронно-лучевой сварки/А. И. Чвертко, А. М. Святский, А. И. Некрасов и др. Киев, Наукова думка, 1971. 104 с.
36. **Холопов Ю. В.** Ультразвуковая сварка. М., Машиностроение, 1972. 151 с.
37. **Холопов Ю. Б., Смирнов А. С., Солдатенков А. С.** Автомат АУС-1,5 для ультразвуковой сварки трикотажно-лавсанового рукава. — Сварочное производство, 1971, № 11, с. 46—47.
38. **Чвертко А. И., Святский А. М., Некрасов А. И.** Классификация оборудования для электронно-лучевой сварки. — Автоматическая сварка, 1970, № 7, с. 61—66.
39. **Trillwood R.** Small component electron beam welding. — Welding and metal Fabric., 1970, 38, 3, p. 116—117.

Глава 8

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ГАЗОВОЙ СВАРКИ, НАПЛАВКИ И ПАЙКИ

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ, ХРАНЕНИЯ И ГАЗИФИКАЦИИ ЖИДКОГО КИСЛОРОДА

В небольших количествах жидкий кислород транспортируют и хранят в сосудах Дюара типа АСД вместимостью 5, 16, 25 и 100 л. Крупным потребителям жидкий кислород поставляют в специальных резервуарах вместимостью 320—7380 л на автомобилях и железнодорожным транспортом. Потери кислорода от испарения зависят от типа резервуара и составляют 0,4—1,7 кг/ч.

Для превращения жидкого кислорода в газообразный применяют газификационные установки безнасосные и насосные. Безнасосные (холодные) газификаторы (ГХК 3/16-200; ГХК 8/16-500; ГХК 8/16-1000 и ГХК 8/16-2000) испаряют жидкий кислород без использования внешних источников тепла с получением давления 16 кгс/см^2 и подают его к местам потребления по трубопроводу. Газификаторы монтируют на открытом воздухе и эксплуатируют при любой температуре в районах с умеренно континентальным климатом. Первая цифра индекса газификатора показывает гидравлическую вместимость резервуара (м^3), вторая — верхний предел давления газов (кгс/см^2), третья — наибольшую производительность по газообразному кислороду (м^3/ч). Резервуар газификатора заполняют жидким продуктом от любого автомобильного или железнодорожного заправщика.

Насосные (теплые) газификаторы [СГУ-7К; СГУ-8000-500/200; СГУ-8000-250/200; АГУ-2М и АГУ-8К/6000-500(200)] относятся к установкам высокого давления и служат для хранения и газификации сжиженного кислорода (азота или аргона) с последующим направлением их в емкости (баллоны) под давлением до 220—420 кгс/см^2 или непрерывным нагнетанием в трубопровод под давлением до 40 кгс/см^2. Производительность установок 210—425 м^3/ч. Установки СГУ монтируют стационарно в помещении при температуре окружающей среды 5—40° С и относительной влажности воздуха 98% при 35° С. Установки типа АГУ на автомобиле работают при температуре окружающей среды от —40 до +50° С. В них сжиженный газ поступает в испаритель — змеевик, где он испаряется, подогревается до 10—30° С и затем под давлением поступает в линию потребителя.

АЦЕТИЛЕНОВЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

Ацетиленовые генераторы представляют собой аппараты, в которых получают ацетилен в результате химического взаимодействия карбида кальция и воды, с подачей газа в горелку или резак для получения в смеси с кислородом высокотемпературного пламени. Нормы выхода ацетилена (ГОСТ 1460—76) устанавливают в зависимости от размеров кусков (грануляции) карбида кальция (табл. 1).

Ацетиленовые генераторы классифицируют (ГОСТ 5190—67) по давлению выработанного ацетилена — на низкое до 0,1 кгс/см^2 и среднее 0,1—0,7 и 0,7—1,5 кгс/см^2; по способу применения — на передвижные и стационарные; по характеру взаимодействия карбида кальция с водой: КВ — карбид в воду; ВК — вода на карбид с вариантами мокрого и сухого процессов; ВВ — вытеснением воды. Допускается сочетание в одном генераторе разных систем, например вода на карбид и вытеснение воды, такие генераторы называют комбинированными. Давление в генераторе связано с его системой и производительностью. Генераторы производительностью до 3 м^3/ч изготовляют передвижными, а свыше 3 м^3/ч — стационарными, устанавливаемыми в специальных помещениях.

Стационарные ацетиленовые генераторы работают при температуре окружающей среды 5—35° С, передвижные — при температуре 25—40° С. Запрещены в эксплуатации передвижные генераторы с газосборником в виде плавающего колокола и генераторы, работающие по способу погружения карбида кальция в воду.

Каждый генератор независимо от типа и системы работы состоит из газообразователя, в котором происходит разложение карбида кальция; газгольдера для сбора и хранения газа; химического очистителя для очистки ацетилена от примесей и водяного затвора для предохранения генератора от взрыва.

Генераторы системы карбид в воду (КВ) обеспечивают наилучшие условия разложения карбида кальция, которое происходит в избытке воды с хорошим охлаждением и промывкой ацетилена. Эту систему применяют в конструкциях стационарных генераторов низкого и среднего давления производительностью свыше 10 м³/ч.

1. Выход ацетилена из карбида кальция, л/кг

Размеры кусков, мм	Карбид кальция сорта	
	первого	второго
25/80	285	265
15/25	275	255
8/15	265	245
2/8	255	235
До 2	Не регламентируется	
Различные	275	265

Генераторы системы вода на карбид (ВК) с вариантами мокрого и сухого процессов разложения карбида кальция имеют постоянную одновременную загрузку и дозированную подачу воды в зону реакции. В генераторах мокрого процесса разложения вода подается к неподвижно лежащему карбиду кальция. В генераторах с сухим процессом разложения вода поступает на движущиеся куски карбида кальция, которые имеются в газообразователе в избытке по сравнению с количеством подаваемой воды. При движении куски карбида трутся друг об друга и о стенки газообразователя, благодаря чему гашеная известь удаляется с поверхности кусков и зависание исключается.

Генераторы системы вытеснения воды (ВВ) находят применение в передвижных конструкциях низкого и среднего давления производительностью не более 5 м³/ч. В них взаимодействие карбида кальция с водой происходит периодически. Загрузочное устройство с карбидом кальция неподвижно, а уровень воды меняется. Количество вырабатываемого ацетилена регулируют путем изменения объема карбида кальция, смоченного водой.

В табл. 2 приведена техническая характеристика ацетиленовых станций и генераторов серийного производства.

Станция УАС-160ГР предназначена для производства газообразного, растворенного или одновременно газообразного и растворенного ацетилена из карбида кальция. Она имеет отделения: генераторное, компрессии, осушки и наполнительное, в которых расположены ацетиленовые генераторы низкого давления ГНД-80, обратные скрубберы, газгольдеры для компенсации неравномерности выработки и потребления ацетилена, химические очистители, водяные затворы и т. д. Станция оснащена системой автоматики.

Установка УАС-40ГР служит для получения газообразного и растворенного ацетилена. Она укомплектована двумя газообразователями ГНД-20 низкого давления, работающими по системе карбид в воду, а также оборудованием для очистки ацетилена, газгольдером для хранения газа и компенсации его неравномерной выработки и потребления, вспомогательными аппаратами для повышения давления, защитными устройствами и распределительной аппаратурой.

Установку УАС-20Г применяют для получения газообразного ацетилена из карбида кальция и воды с подачей его потребителю по трубопроводу. Оборудование, входящее в комплект установки, унифицировано с установкой УАС-40ГР.

Установка УСН-20-3 имеет оборудование для линии среднего и высокого давления и для ремонта и испытания ацетиленовых баллонов. Оборудование линии

2. Техническая характеристика ацетиленовых генераторов

Станция, установка, генератор	Номинальная производительность, м³/ч	Давление, кгс/см²		Единовременная загрузка кг	Грануляция, мм
		наибольшее в корпусе	рабочее		
УАС-160ГР	160	0,1	0,08	600	15/25; 25/80
УАС-80	80	0,1	0,08	300	
УАС-40ГР	40	0,044	0,01	240	
УАС-20Г	20	—	—	240	
УСН-20-3	10	1,5	0,3—0,7	25	25/80
АСК-3	10	1,5	0,7	50	25/80
АСК-1	5	0,7	0,15—0,3	12—16	15/25; 25/80
АНВ-1,25	1,25	0,025—0,03	0,009—0,012	4—5	25/80
АСВ-1,25	1,25	1,5	0,1—0,7	3	25/80

Примечание. Г — газообразный ацетилен; У — унифицированная станция (установка); А — ацетиленовая станция (установка); С — станция.

среднего давления содержит генератор ГРК-10, химический очиститель, водяной затвор и влагосборник. Линия высокого давления состоит из компрессора КА-5, осушительной батареи, клапана-регулятора «до себя», наполнительной рампы, огнепреградителя, ацетонирующих приборов и др.

Генератор АСК-1 работает по комбинированной системе вода на карбид и вытеснение воды и предназначен для питания сварочных цехов ацетиленом среднего давления. Он состоит из двух поочередно работающих реторт с рубашками для охлаждения, загрузочных корзин, газосборника, двух обратных газовых клапанов, водяного затвора и регулятора подачи воды. Работа генератора регулируется автоматически. Поступление воды зависит от давления газа в генераторе. Образовавшийся газ через обратные газовые клапаны поступает в газосборник, где промывается водой, и затем через регулятор давления и водяной затвор поступает в сеть.

Переносной генератор АНВ-1,25 имеет максимальную производительность 1,25 м³/ч при рабочем давлении 250—300 мм вод. ст. Он является аппаратом открытого типа, прерывистого действия и работает на комбинированной системе вода на карбид и вытеснения воды на карбиде кальция грануляции 25/80. В генераторе водяной затвор и водопадающая система размещены в корпусе газообразователя, благодаря чему обеспечивается его работа при температуре до—25° С. Скорость разложения карбида кальция в реторте, в зависимости от отбора ацетилена из газосборника генератора, регулируется автоматически. Генератор АСВ-1,25 работает по схеме вытеснения воды и является аппаратом прерывистого действия, приспособленным для работы в зимнее время в полевых и монтажных условиях.

При централизованном газоснабжении преимущество следует отдать генераторам среднего давления; в цехах с небольшим числом рабочих постов — ацетиленовым баллонам, соединенным в батарею — рампу; в крупных цехах могут быть использованы генераторы типа ГНД, укомплектованные газодувками, повышающими давление ацетилена до 0,4—0,5 кгс/см², или применены ацетиленовые рециpиенты, размещенные на автоприцепах.

ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Предохранительные устройства служат средством защиты ацетиленовых генераторов, трубопроводов и резинотканевых рукавов для горючих газов и кислорода от проникновения в них пламени взрывной волны обратного удара, а также от перетекания воздуха, горючего газа или кислорода при неисправной огневой и регулирующей аппаратуре.

ГОСТ 8766—73 предусматривает применение в качестве защитных устройств жидкостные затворы открытого и закрытого типов. Затворы открытого типа устанавливают на ацетиленовых генераторах низкого давления, например на генераторе ГНВ-1,25. Затворы закрытого безмембранного типа (ЗСП-7) устанавливают на рабочих постах отбора газа (до 3,2 м³/ч) из трубопровода при давлении в нем 0,1—0,7 кгс/см². При температуре окружающей среды ниже 0° С затворы заливают морозостойкой жидкостью состава: два объема этиленгликоля, смешанного с одним объемом воды, или два объема глицерина, смешанного с одним объемом воды. Можно также применять охлаждающую жидкость антифриз. Затвор можно использовать для работы с другими горючими газами. Водные затворы закрытого типа на расходы 20, 40, 80 м³/ч газа по конструкции подобны затвору ЗСП-7.

На газопроводах метана, городского газа и пропана вместо водяных затворов разрешается применять обратные шариковые клапаны типа ЛЗС (табл. 3). Клапаны ЛЗС-1 и ЛЗС-2 являются постовыми; их устанавливают на ответвлениях газопровода низкого и среднего давления для питания одного рабочего поста. Клапан ЛЗС-3 — сетевой.

3. Основные параметры клапанов типа ЛЗС

Параметр	ЛЗС-1	ЛЗС-2	ЛЗС-3
Пропускная способность, м³/ч	5—10	5	40
Давление газа, кгс/см²	0,05—3	до 3	0,05—3
Сопротивление потоку газа, кгс/см²	0,1	0,025	0,025

На трубопроводах ацетилена среднего давления допускается устанавливать сухие затворы типа ЗСМ-1, обладающие пропускной способностью 3,2 м³/ч при сопротивлении потоку газа при номинальном расходе не более 0,25 кгс/см². При давлении газа—заменителя ацетилена в трубопроводе 1,5 кгс/см² можно ставить затвор ЗСЗ-1, рассчитанный на расход 5 м³/ч при сопротивлении потоку газа 0,35 кгс/см².

Огнепреградители типа ЗВС — сетевые, производительностью до 45 м³/ч, имеют сопротивление потоку газа 0,4 кгс/см²; ЗВВ — вентильные на расход 1,5 м³/ч, обладают сопротивлением потоку 0,25 кгс/см²; ЗВМ — манометрические с расходом до 1 м³/ч, применяют на ацетилено-наполнительных станциях для предотвращения прохождения пламени по ацетиленопроводу высокого давления (до 25 кгс/см²). Для защиты кислородного рукава резаков и горелок, работающих на жидком горючем, от загорания при обратном ударе пламени следует применять клапан ЛКО-2.

БАЛЛОНЫ И ВЕНТИЛИ

Сжатые, сжиженные и растворенные газы хранят и транспортируют в стальных баллонах по ГОСТ 949—73. Кислород, водород, азот, метан, воздух и инертные газы нагнетают в баллоны типа 150 и 150Л; ацетилен и аммиак — в баллоны типа 100 с вместимостью оболочки от 0,4 до 55 л. Наибольшее распространение получили баллоны вместимостью 40 л. Они имеют наружный диаметр 219 мм, высоту около 1500 мм, массу около 60 кг и рассчитаны на рабочее давление до 200 кгс/см². Сжиженными газами (пропан, бутан) наполняют сварные баллоны, изготовленные по специальным техническим условиям. Баллоны окрашивают в условные цвета и снабжают надписями названия газа, а в некоторых случаях и отличительными полосами. Например, баллоны для кислорода окрашивают в голубой цвет с надписью «Кислород черного цвета»; для ацетилена — в белый цвет с надписью «Ацетилен красного цвета»; для водорода — в темнозеленый цвет с надписью «Водород красного цвета»; для пропана и других горючих газов — в красный цвет с надписью «Пропан (или другой горючий газ) белого цвета» и т. д.

Для подачи больших объемов кислорода применяют рециписнты, которые представляют собой баллоны вместимостью до 400 л. Их соединяют трубопроводами в батареи для получения требуемого объема хранилища и снабжают запорной и присоединительной арматурой и контрольно-измерительными приборами.

Давление кислорода в транспортном рециписнте 165—200 кгс/см², газовместимость 1500, 750 и 375 м³, радиус доставки 400 км. Баллоны каждые 5 лет подвергают контрольной проверке. Для газов, вызывающих коррозию (хлор, сероводород, фосген и др.), баллоны испытывают через 2 года.

Баллоны для растворенного ацетилена. Безопасное повышение давления ацетилена в баллоне свыше 1,5 кгс/см² возможно только, когда газ будет располагаться в капиллярах пористого вещества. В этом случае возникший в одном месте взрывчатый распад ацетилена не может распространиться на всю массу газа. По этой причине баллоны для хранения и транспортировки ацетилена заполняют пористой массой, например, из березового активированного угля БАУ по ГОСТ 6217—74. Для увеличения содержания ацетилена в баллоне его заливают ацетоном, обладающим свойством высокой растворимости ацетилена. Давление ацетилена в баллоне при различных температурах окружающей среды регламентируется ГОСТ 5457—75, и оно не должно превышать следующих норм:

Окружающая температура, °С	−5	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40
Давление в баллоне, кгс/см²	13,4	14,0	15	16,5	18	19	21,5	23,5	26	30

При отборе ацетилена из баллона он уносит часть ацетона в виде паров. Для уменьшения потерь ацетона расход ацетилена из баллона должен составлять не более 1700 л/ч; при необходимости несколько баллонов соединяют в батарею. По этой причине нельзя отбирать газ из баллона, в котором давление менее 3 кгс/см² при температуре 25—35° С. Остаточное давление в баллоне после отбора газа не должно быть ниже 0,5—1 кгс/см².

Баллонные вентили. Вентили являются запорными устройствами, позволяющими сохранять в баллоне сжатые и сжиженные газы.

Кислородный баллонный вентиль ВК-74 ввертывают в горловину баллона хвостовиком корпуса с резьбой К29ГАЗ (ГОСТ 9909—70). Он рассчитан на максимальное рабочее давление 200 кгс/см², имеет диаметр условного прохода по газу 3,5 мм и массу 0,65 кг, и присоединительную резьбу штуцера $^3/_4''$ труб. 3-го класса. Уплотнительные элементы выполнены из фторопласта-4, что обеспечивает легкое ручное перекрытие газа без применения ключей.

Ацетиленовый баллонный вентиль рассчитан на рабочее давление 30 кгс/см². В отличие от других он не имеет маховика и бокового штуцера. Вместо последнего в корпусе сделана канавка, в которую через кожаную прокладку специальным хомутом прижимают штуцер ацетиленового редуктора или штуцер трубки наполнительной рампы. Такая форма вентиля сделана, чтобы не допускать случайной установки его на другой баллон, например кислородный, во избежание наполнения другим газом и образования взрывчатой смеси. Открытие и закрытие вентиля и присоединение к нему регулятора давления осуществляют специальным торцовым ключом. Для предотвращения уноса из баллона пористой массы перед седлом вентиля установлены войлочные фильтры.

Вентиль пропанового баллона принадлежит к вентилям мембранного типа; рассчитан на рабочее давление до 20 кгс/см², обеспечивает надежное герметичное уплотнение сальника и седла корпуса. Боковой штуцер корпуса имеет резьбу

⌀ 21,8—14 ниток на 1″, левую. Вентили для других горючих газов аналогичны кислородным, но имеют резьбу на боковом штуцере, соответствующую резьбе пропанового вентиля.

ПЕРЕПУСКНЫЕ РАМПЫ

При наличии в цехе нескольких постов для газовой сварки и резки металлов питание их кислородом и горючим газом производят централизованно от батарей баллонов, подключенных к перепускным рампам. Перепускные рампы устанавливают в отдельных несгораемых помещениях вне цеха или внутри него. Кислородные рампы допускается располагать снаружи у стен цехов-потребителей в металлических шкафах или под навесом. Промышленность выпускает кислородные рампы в виде двух секций, каждая по 5,6 и 10 баллонов. Каждая распределительная рампа состоит из двух переключаемых труб, запорных вентилей, гибких присоединительных трубопроводов для баллонов и рампового редуктора. Из рампы в трубопровод ацетилен поступает под давлением до 1,5 кгс/см², а кислород — преимущественно под давлением 10—16 кгс/см². На местах отбора газов из трубопроводов устанавливают газоразборные посты. Последние состоят из металлических запирающихся шкафчиков с отверстиями для вентиляции. Внутри них установлены предохранительные постовые жидкостные или сухие затворы (для ацетилена) и сетевые редукторы (для кислорода).

РУКАВА

Горелки и резаки присоединяют к источникам газопитания гибкими резинотканевыми рукавами. По ГОСТ 9356—75 их изготовляют трех типов: I — для подачи ацетилена и городского газа под рабочим давлением не более 6 кгс/см²; II — для подачи жидкого топлива (бензина, керосина) под рабочим давлением не более 6 кгс/см²; III — для подачи кислорода под рабочим давлением не более 15 кгс/см². Рукава выпускают с внутренним диаметром 6, 9, 12 и 16 мм и длиной 10 и 14 м или кратной длины с запасом прочности (не менее): для типов I и II — четырехкратным, типа III — трехкратным по сравнению с рабочим давлением. Рукава должны иметь цветной наружный слой: для кислорода — синий, для ацетилена — красный, для жидкого топлива — желтый. При температурах ниже —35° С целесообразно применять рукава из морозостойкой резины неокрашенные. Длину каждого рукава допускают до 8—20 м, чтобы сварщик или резчик мог свободно работать. При длине рукавов свыше 20 м значительно возрастают потери давления газов.

ГАЗОВЫЕ РЕДУКТОРЫ

Газовые редукторы служат для понижения давления газа, поступающего от источника питания (баллона или распределительного трубопровода) и для поддержания постоянного его расхода и давления независимо от изменения этих параметров до редукторов.

ГОСТ 6268—78 классифицирует редукторы для газопламенной обработки материалов по следующим показателям: 1) по назначению (месту установки в системе газопитания): Б — баллонные; Р — рамповые; С — сетевые; 2) по роду редуцируемого газа: А — ацетиленовые; К — кислородные; М — метановые; П — пропан-бутановые; 3) по схеме редуцирования: О — одноступенчатые с механической установкой давления; Д — двухступенчатые с механической установкой давления; У — одноступенчатые с пневматической установкой давления с помощью пусковых редукторов.

В табл. 5 приведены типы и основные параметры редукторов. Редукторы для различных газов имеют свой цвет окраски корпуса и крышки, а также разные присоединительные размеры накидных гаек, соответствующих штуцерам вентилей.

5. Типы и основные параметры редукторов для газопламенной обработки металлов

Тип редуктора	Редуцирующий газ	Назначение	Схема редуцирования	Давление, кгс/см²		Производительность, м³/ч *1
				рабочее	максимальное на входе	
ДКП-1-65	Кислород	Баллонный	Одноступенчатая	1—15	200	7,5—60
ДКД-15-65		»	Двухступенчатая	1—15	200	7,5—60
ДКД-8-65		»	»	0,5—8	200	3—25
ДКС-66		Сетевой	Одноступенчатая	0,1—5	16	5—10
ДКР-250		Рамповый	С пневматическим заданием рабочего давления	3—16	200	50—250
ДКР-6000		»		3—16	35	2000—6000 *2
ДАП-1-65	Ацетилен	Баллонный	Одноступенчатая	0,1—1,2	30	3—5
ДАД-1-65		»	Двухступенчатая	0,1—1,2	30	3—5
ДАС-66		Сетевой	Одноступенчатая	0,1—1	1,2	5—10
ДАР-2-64		Рамповый	Двухступенчатая	0,2—1	30	30
ДАР-1-64		»	»	0,2—1	30	15
ДПП-1-65	Пропан-бутановая смесь	Балонный	Одноступенчатая	0,1-3	25	3—5
ДПС-66	То же	Сетевой	»	0,2—1,5	3	3—6
ДПР-1-64	»	Рамповый	Двухступенчатая	0,2—3	25	25
ДВП-1-65	Водород	Баллонный	Одноступенчатая	1—15	200	10—80 *3
ДМС-66	Метан	Сетевой	»	0,2—1,5	3	17,5—30

*1 Пропускная способность рассчитана при наибольших рабочих давлениях газа (на выходе) и наименьшем давлении на входе.
*2 Применяется при металлургических процессах.
*3 Применяется также для нефтяного, городского, коксового и природного газа.

Одноступенчатые баллонные редукторы ДКП, ДАП, ДПП, ДВП выполнены на одной базе и отличаются только присоединительными элементами, усилием регулирующих пружин и размерами проходных каналов редуцирующих узлов. Двухступенчатые баллонные редукторы типа ДКД и ДАД, двухступенчатые рамповые редукторы ДАР, ДПР, рамповые редукторы с пневматическим заданием рабочего давления ДКР-250 и ДКР-6000 также имеют единые унифицированные модули.

В двухступенчатых редукторах газ последовательно редуцируется в двух камерах: в первой — с начального до промежуточного давления (40—50 кгс/см^2); во второй — с промежуточного до рабочего. Во второй ступени двухкамерного редуктора на изменение рабочего давления влияет только изменение давления после первой камеры. Поэтому в этих редукторах обеспечивается высокое постоянство рабочего давления после редуктора.

Редукторы с пневматическим заданием давления сочетают два одноступенчатых редуктора, соединенных параллельно. Каждый из газовых редукторов имеет предохранительный клапан, предохраняющий рабочую линию от возможного повышения давления сверх установленного.

ГОРЕЛКИ

Горелка — устройство, в котором осуществляется смешение горючего газа с технически чистым кислородом или воздухом в требуемом соотношении с получением пламени определенной тепловой мощности, размеров и формы.

По способу образования горючей смеси горелки подразделяют на инжекторные, безынжекторные, внутрисопловые и внешнего смешения; по назначению — универсальные (для сварки, пайки, наплавки, нагрева) и специализированные (для наплавки, закалки, очистки металлов от ржавчины, сварки пластмасс и т. д.); по числу рабочих пламен — однопламенные и многопламенные; по применению — для ручных работ и механизированных процессов.

В инжекторных горелках горючая смесь образуется в смесительном устройстве за счет инжектирования струей кислорода, воздуха или горючего газа, а также другого газа, подаваемого в горелку под низким (0,01—0,1) или средним (до 1,5 кгс/см^2) давлением.

Сварочная инжекторная горелка состоит из ствола и наконечника, присоединяемого накидной гайкой. Ствол содержит штуцера, трубки, ручку и корпус с двумя регулировочными вентилями и выполняет функции рукоятки горелки. Наконечник имеет инжектор, смесительную камеру, смесительную трубку и мундштук. По требованию потребителя изготовитель выпускает наконечники, у которых мундштук и трубка являются одной деталью и изготовляются ротационной ковкой.

В безынжекторных горелках смесеобразование горючего и окислителя достигается в смесителе, в который их подают раздельно под высоким давлением (до 1 кгс/см^2 и более).

Внутрисопловое смешение газов основано на безынжекторной схеме с образованием горючей смеси непосредственно в выходном канале мундштука. Схема обеспечивает высокую устойчивость и стабильность состава пламени при длительной работе и безопасность эксплуатации коммуникаций из-за отсутствия хлопков и обратных ударов. Рекомендуется к использованию в многофакельных линейных горелках для механизированных установок нагрева и термической обработки изделий массового производства.

Внешнее смешение — смешение потоков газов горючего и окислителя за срезом сопла мундштука горелки. Применяют в горелках, к которым предъявляют особые условия безопасности эксплуатации при длительной непрерывной работе, но которые допускают пониженные требования к полноте смешения и сгорания газов.

Сварку черных и цветных металлов выполняют преимущественно ацетилено-кислородными горелками.

Горелку Г1 относят к безынжекторным горелкам микромощности малогабаритного исполнения. Ее комплектуют тремя наконечниками с расходом ацетилена от 5 до 60 л/ч, применяют для сварки тонкого металла и ювелирных работ. Масса горелки 0,3 кг.

Горелка Г2-02 принадлежит к инжекторным горелкам малой мощности малогабаритного исполнения. Является изделием массового производства. Ее комплектуют четырьмя наконечниками для сварки металла толщиной от 0,5 до 7 мм. Наконечник № 0 поставляют по специальному заказу. Масса горелки 0,5 кг.

Горелка Г3-02 принадлежит к инжекторным горелкам средней мощности нормального функционального исполнения. Относится к изделиям массового производства. Ее комплектуют наконечниками № 3, 4 и 6; остальные наконечники поставляют по специальному заказу. Масса горелки 0,9 кг.

Горелка Г4 относится к разряду инжекторных горелок большой мощности крупногабаритного исполнения. Рекомендуется для уникальных работ по нагреву и сварке массивных изделий, при огневой правке металлоконструкций и гибке. Ее комплектуют наконечниками № 8 и 9. В наконечниках инжектор и смесительная камера расположены непосредственно у мундштука, что значительно повышает устойчивость и стабильность горения пламени в режимах больших расходов газов. Горелка может работать на пропане и метане при замене однопламенных мундштуков многопламенными и увеличении проходных каналов в инжекторах и смесительных камерах.

Повысить качество и производительность газовой сварки в тяжелых температурных условиях работы можно с помощью наконечников типа НАТ. Последние имеют внешнюю изоляцию из асбеста, слюды и кожухи из коррозионно-стойкой стали. Теплозащита обеспечивает постоянство состава газовой смеси в течение всего времени работы без ее нагрева.

Сварочные горелки ГЗУ-3 и ГЗМ-3 работают на пропан-бутане и на природном газе в смеси с кислородом. Они выполнены на базе горелок Г3 и Г2 и отличаются от них наличием у наконечников подогревателей и подогревающих камер, установленных между мундштуком и трубкой, и большими проходными сечениями в мундштуках, смесительных камерах и инжекторах. Горелками можно сваривать заготовки из низкоуглеродистой стали толщиной до 6 мм, из чугуна, цветных металлов и сплавов (кроме меди) с удовлетворительными показателями качества и производительности.

Горелка ГЗУ-4 имеет корпус ствола от горелки Г3 и наконечники № 5, 6, 7 с многофакельными мундштуками. Она работает на пропане и природном газе в смеси с кислородом. Подогрев горючей смеси до истечения из мундштука в ней решен автонагревом массы мундштука теплом, излучаемым основаниями пламен, утопленных в тело на определенную глубину. Горелкой сваривают заготовки из чугуна, цветных металлов и сплавов, осуществляют правку металлоконструкций, производят наплавку твердых и цветных сплавов и пайку деталей твердыми и мягкими припоями.

Керосино-кислородная горелка ГКР-67 предназначена для сварки, наплавки и пайки черных и цветных металлов и сплавов в помещениях, в полевых и монтажных условиях, удаленных на значительное расстояние от источников централизованного снабжения газами.

Горелка укомплектована четырьмя сменными мундштуками сетчатого типа с коническим расположением выходных сопел, дающими сфокусированный пучок ядер пламени. Проходные каналы в мундштуках, распылителях и стабилизаторе обеспечивают устойчивое горение пламени при расходе горючего 0,3—2,3 кг/ч и кислорода 0,5—3,2 м^3/ч.

Установка для прецизионной сварки предназначена для сварки металлов толщиной 0,05—0,6 мм в полевых, монтажных условиях и в помещениях. Она состоит из кислородного и ацетиленового баллонов вместимостью по 5 л, установленных в гнезда металлического каркаса, редукторов типа ДКП-1-65 и ДАП-1-65, сварочной горелки ГС-1 с тремя наконечниками 000, 00, 0 с расходом газа по ацетилену от 5 до 60 л/ч и двух резиновых рукавов длиной по 5 м. На каркасе уста-

новлена рукоятка для переноса. Масса установки 29 кг. Продолжительность работы с наконечниками 000 — 75—150 ч, 00 — 30—75 ч и 0 — 12—30 ч. Рабочее давление ацетилена и кислорода 0,1—1,1 кгс/см².

Установка ПГУ-3 предназначена для пропано-кислородной сварки деталей толщиной до 4 мм и резки металла толщиной до 12 мм, при ремонте в полевых условиях авто- и сельскохозяйственных машин, при работе на высотных объектах, на кратковременных аварийных и сантехнических работах, электромонтаже, а также в передвижных ремонтных мастерских. Установка может быть использована как пособие для обучения газосварщиков и резчиков. Она представляет собой переносной футляр, внутри которого размещены пропановый и кислородный баллоны вместимостью по 5 л, редуктор типа ДКП-1-65 и ДПП-1-65, резинотканевые рукава, горелка ГЗУ-3 и вставной резак типа РГС-70. Продолжительность сварки от одного баллона пропана 5—30 ч, кислорода 0,8—5 ч. При резке стали кислородный баллон требует перезарядки через 15 мин работы. Масса установки 23 кг.

Горелку ГНП применяют для ручной наплавки гранулированными самофлюсующимися твердыми сплавами на основе Cr—B—Ni новых и восстановления изношенных поверхностей деталей машин и механизмов, работающих в условиях механического, ударного и абразивного изнашивания. Ее комплектуют двумя мундштуками (№ 3 и 4) с расходом порошка до 2,7 кг/ч. Размеры частиц порошка 40—100 мкм. Горелка обеспечивает устойчивое горение пламени, постоянство расхода кислорода и ацетилена при подаче порошка в наплавочную ванну. При нажатии на рычаг порошок под собственной массой и инжектирующим действием струи кислорода поступает в смеситель, затем во второй инжектор и далее направляется в мундштук горелки. На выходе из сопла мундштука смесь при зажигании и при направлении ее на деталь обеспечивает тепловую подготовку поверхности под наплавку и нагрев частиц порошка в полете. Расход порошка зависит от технологических параметров наплавки. Для наплавки кроме однопламенных мундштуков можно применять мундштуки многопламенные с кольцевым расположением выходных сопел. Горелкой наплавляют ровные, выпуклые и вогнутые фасонные поверхности, кромки, углы, а также заполняют дефектные раковины на чугунных деталях, выявленных в процессе обработки. Толщина слоя наплавки составляет 0,1—2 мм и более.

Горелку ГАЛ-6 рекомендуют для наплавки деталей типа тел вращения (валы, оси, шпильки, пуансоны и др.) самофлюсующимися сплавами типа Cr—B—Ni. Она работает по схеме внешней подачи порошка в зону пламени с получением гладких и стабильных по толщине покрытий. Горелка состоит из ствола горелки Г3, двух укороченных наконечников с многофакельными мундштуками, устройства, дозирующего подачу порошка, бункера и крепления. Порошок из наклонного бункера подается в зону пламени. Частицы порошка отбрасываются на поверхность вращаемой детали и соединяются с ней в результате диффузии. Максимальная производительность наплавки 8 кг/ч. Размеры частиц порошка должны быть 40—160 мкм.

Горелка ГАО-2 предназначена для пламенной очистки от ржавчины и старой краски поверхностей металлоконструкций при их толщине свыше 6 мм. Она имеет ствол горелки Г-3, удлинительную трубку и линейный мундштук с одним рядом пламен на длине 110 мм. Горелка рассчитана на работу при давлении кислорода 2—4 кгс/см², ацетилена не ниже 0,1 кгс/см² и расходе ацетилена 2 м³/ч. При выполнении работ ее располагают под углом 45—60° к поверхности металла и перемещают в зависимости от условий на себя или от себя со скоростью 0,5—10 м/мин. Производительность очистки достигает 20 м² поверхности в 1 ч. Удельный расход газов составляет 0,1—0,4 м³ на 1 м² очищаемой поверхности.

Горелку ГВП-2 (рис. 1) используют для пайки деталей из стали и цветных сплавов с толщиной стенки до 1,5 мм припоями с температурой плавления до 600° С и деталей с толщиной стенки до 6—10 мм оловянно-свинцовыми припоями. Пропано-воздушную горелку с инжекцией воздуха из атмосферы комплектуют тремя наконечниками с расходом пропана от 60 до 300 л/ч при давлении 0,5—1,5 кгс/см². У каждого наконечника пламя имеет острое удлиненное ядро, удобное для нагрева и пайки. Максимальная температура пламени (1560—1600° С) — у вершины ядра факела.

Горелку ГВ-1 применяют для низкотемпературного нагрева элементов стыковых соединений под сварку, под покрытие битумом трубопроводов, тюбингов и других изделий, приклейки руберойда и гидроизола к бетонной поверхности на строительных объектах, очистки железнодорожных шпал от масла, гнутья термопластических труб, сушки литейных форм и т. д. Горелка имеет одновентильный корпус, удлинительную трубку и три наконечника с стабилизаторами пламени. Рабочим газом служит пропан, подаваемый под давлением 0,5—1,5 кгс/см². Горелка работает нормально при расходе пропана от 0,5 до 1,7 м³/ч. Она может работать и на природном газе при давлении 1—1,5 кгс/см², но при больших размерах каналов в рассекателе. Горелка ГВП-3М служит для ручной и механизированной пайки деталей с толщиной стенки до 20 мм низкотемпературными припоями и деталей с толщиной стенки до 3 мм припоями с температурой плавления до 600° С. Горелку комплектуют двумя наконечниками; она работает на пропане и природном газе при давлении не ниже 0,01 кгс/см² и на воздухе при давлении до 5 кгс/см² и расходе пропана 300—1500 л/ч, природного газа 500—2500 л/ч. Максимальная температура пламени не превышает 1600°С и наблюдается на расстоянии 3—6 мм от конца вершины ядра пламени. Горелка ГВП-5 предназначена для пайки деталей с толщиной стенки до 6 мм низкотемпературными припоями и деталей с толщиной стенки до 2 мм высокотемпературными припоями с температурой плавления до 700° С. Горелка выполнена на базе горелки Г-2. Горелку комплектуют тремя наконечниками с расходами ацетилена 75—350 л/ч, пропана 30—600 л/ч, природного газа 75—1200 л/ч.

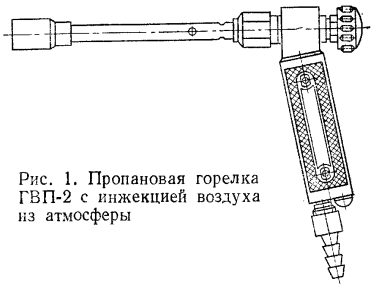


Рис. 1. Пропановая горелка ГВП-2 с инжекцией воздуха из атмосферы

Нагревательные горелки различной конфигурации, протяженности и мощности для предварительного и сопутствующего нагрева могут быть собраны из типовых элементов, работающих на смесях (пропана или природного газа с воздухом). Первый элемент работает на инжекции горючим газом воздуха из атмосферы и использован, например, в горелке «Спрут». Второй основан на принудительной подаче горючего газа и воздуха и работает по схеме вихревого смешения газов на выходе из сопла с образованием кольцевого пламени в виде расходящегося конуса. Горелки, изготовленные из этих элементов, практически безопасны в эксплуатации, просты в обслуживании и обращении.

Горелка ГГП-1 предназначена для сварки деталей и изделий из термопластов продуктами горения пропано- или метано-воздушной смеси, обогащенных воздухом. Горелка работает по схеме вихревого смешения и сжигания газов в камере сгорания малого объема. Ее конструкция позволяет регулировать мощность пламени и температуру продуктов сгорания в пределах 200—1700° С при различных расходах газов и практически холодном корпусе. Горелка нормально работает при расходе пропана 25—40 л/ч и природного газа 30—110 л/ч. Тепловая мощность пламени эквивалентна мощности электрических горелок для сварки термопластов (600—800 Вт). Масса горелки 0,6 кг. Она не имеет быстроизнашивающихся деталей, что гарантирует продолжительный срок ее службы.

Горелку ГЭП-2 применяют для сварки термопластических материалов типа полиэтилен, полипропилен и др. газовым теплоносителем. Ее относят к раз-

ряду электрических горелок. Она имеет мощность нагревательного элемента 750 Вт и нормально работает от переменного напряжения 36 В. В качестве теплоносителя используют воздух, азот или другие инертные газы, подаваемые в горелку под давлением от 1 до 5 кгс/см².

Экономизатор ЭГА-2 представляет собой прибор клапанного типа для прекращения подачи газов в сварочную горелку при кратковременных перерывах ее работы без нарушения регулировки пламени. Конструкция экономизатора обеспечивает работу газовой аппаратуры с расходами газов: до 3,2 м³/ч ацетилена и до 60 м³/ч воздуха при давлении не ниже 0,01—0,05 кгс/см². Расход газа на дежурное пламя составляет: ацетилена 10 л/ч, пропана и природного газа 20 л/ч. Масса экономизатора 2,15 кг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Антонов И. А.** Газопламенная обработка металлов. М., Машиностроение. 1976. 264 с.
2. **Ковальский В. А.** Ацетиленовые генераторы. Библиотечка газосварщика. М., Машиностроение. 1974, 96 с.
3. **Крикунова И. И., Некрасов Ю. И.** Газовая сварка пластмасс. Библиотечка газосварщика. М., Машиностроение, 1974. 94 с.
4. **Машины,** установки и аппаратура для газопламенной обработки металлов. Каталог. М., ЦИНТИхимнефтемаш. 1977. 70 с.
5. **Некрасов Ю. И.** Газы — заменители ацетилена. Библиотечка газосварщика. М., Машиностроение. 1974. 96 с.

Глава 9

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ГАЗОПЛАМЕННОЙ И ПЛАЗМЕННО-ДУГОВОЙ РЕЗКИ

УНИВЕРСАЛЬНЫЕ РЕЗАКИ

Для разделительной ручной кислородной резки наиболее широко применяют резаки «Маяк», «Факел», «Пламя», РЗР-62, РУА-70, РУЗ-70, керосинорез РК-71 и др. Резаки «Маяк», «Пламя», «Факел» и РУА-70 предназначены для ацетиленокислородной резки, резаки РУЗ-70 и РЗР-62 для кислородной резки с применением газов — заменителей ацетилена. Принцип смешения горючего газа во всех резаках одинаков. Резаки могут быть оснащены тележкой, которая воспринимает вертикальную нагрузку, обеспечивает постоянство расстояния между торцом резака и металлом, а также равномерное перемещение резака, что позволяет более качественно выполнять процесс резки. В комплект тележки входит циркулярное устройство, обеспечивающее повышение производительности и качества кромки при вырезке дисков и фланцев. Резак снабжен набором мундштуков и запасными частями. У резаков «Факел», «Пламя» и РЗР-62 инжектирующий узел расположен у вентильного корпуса и головка крепится к двум трубкам. По верхней трубке подается кислород режущий, по нижней — смесь горючего газа с кислородом.

В резаках РУЗ-70 и РУА-70 инжектирующий узел расположен в головке и между корпусом и головкой имеются три трубки, по которым в головку резака раздельно подается кислород режущий, кислород подогревающий и горючий газ. Отличительной особенностью резаков РУЗ-70 и РЗР-62, работающих на газах-заменителях ацетилена, являются увеличенные проходные каналы для горючей смеси в смесительной камере, в инжекторе и во входной кольцевой щели.

Эксплуатационная характеристика резаков, работающих на горючих газах, приведена в табл. 1.

1. Эксплуатационная характеристика резаков, работающих на горючих газах

Толщина разрезаемой стальной заготовки, мм	Номер мундштука		Давление режущего кислорода по манометру редуктора, кгс/см²	Расход, м³/ч			
	наружного	внутреннего		кислорода	ацетилена	природного газа	пропана
3—5	1	1	3,0	3	0,4	0,6	0,3
5—25	1	2	4,0	6	0,6	1,0	0,4
25—50	1	3	6,0	10	0,8	1,3	0,5
50—100	2	4	8,0	15	0,9	1,4	0,6
100—200	2	5	10,0	26	1,0	1,6	0,7
200—300	2	5	12,0	40	1,2	1,9	0,8

Примечание. Давление горючего газа не менее 0,01 кгс/см².

КЕРОСИНОРЕЗЫ

В полевых условиях и на строительных площадках широко применяют керосинорезы РК-71. Эксплуатационная характеристика кероснореза приведена в табл. 2.

2. Эксплуатационная характеристика керосинореза РК-71

Толщина разрезаемой заготовки, мм	Давление, кгс/см²		Расход	
	керосина в бачке	кислорода	керосина, кг/ч	кислорода, м³/ч
До 2	1,3—3	4—5	0,8—0,9	6
20—50	1,5—3	5—7	0,9—1,0	6—10
50—100	1,5—3	7—9	1,0—1,3	10—20
100—200	1,5—3	7—9	1,3—2,0	20—36

Примечание. Масса керосинореза с запасными частями 1,66 кг.

ВСТАВНЫЕ РЕЗАКИ

При монтажных, ремонтных и других работах часто приходится выполнять сварку и резку одному рабочему. В этом случае для экономии газорежущей оснастки и времени при частом переходе от одного вида работ к другому применяют вставные резаки: РГС-70 и РГМ-70 для разделительной резки, РАЗ-70 для срезки заклепок, РАТ-70 для резки труб, РАО-70 для вырезки отверстий. По конструкции вставные резаки однотипны и имеют различие только в устройстве мундштуков. Вставной резак РГМ-70 присоединяют к горелке ГС-2 или «Малютка», остальные резаки к горелке ГС-3 или «Москва» с помощью накидной гайки. Резак РГС-70 предназначен для резки низкоуглеродистой и низколегированной стали. В табл. 3 приведена техническая характеристика резака РГС-70.

Резак РГМ-70 предназначен для резки заготовок из низкоуглеродистой стали толщиной 5—30 мм. Резак комплектуют двумя сменными мундштуками. Давление кислорода перед резаком устанавливается в пределах 3—6 кгс/см², ацетилена — не ниже 0,1 кгс/см², при этом расход кислорода в зависимости от толщины разрезаемого металла составляет 2,5—5,8 м³/ч, а ацетилена 0,65 м³/ч.

Резак РАТ-70 предназначен для обрезки труб, главным образом, при демонтаже и ремонте котлов и аппаратов. Резак обрабатывает трубы диаметром не менее 45 мм с толщиной стенки 3—20 мм. В зависимости от толщины стенки перед резаком устанавливается давление кислорода 2—4 кгс/см²; при этом расход кислорода составляет 2—4 м³/ч. Давление подаваемого к резаку ацетилена должно быть не

3. Техническая характеристика резака РГС-70

Параметр	Толщина разрезаемой стальной заготовки, мм			
	3—5	5—25	25—50	50—70
Номер мундштука:				
наружного	1	1	1	1
внутреннего	1	2	3	3
Давление кислорода, кгс/см²	3	3—4	4—5	5—6
Расход, м³/ч:				
кислорода	2,5—3	3—5	5,2—8,5	8,5—15
ацетилена	0,3—0,4	0,4—0,45	0,45—0,5	0,5—0,6

Примечание. Давление ацетилена 0,1 кгс/см² и выше.

ниже 0,1 кгс/см², в этом случае расход ацетилена составляет 0,4 м³/ч. Масса резака 0,525 кг.

Вставной резак РАЗ-70 предназначен для срезки заклепок. Мундштук резака имеет плоскую форму, обеспечивающую возможность срезки заклепок заподлицо. При давлении кислорода до 6 кгс/см² на входе резака он может срезать болты и заклепки диаметром до 70 мм. Расход кислорода составляет 3—10 м³/ч в зависимости от диаметра заклепки, а ацетилена 0,6 м³/ч. Масса резака 0,615 кг.

Вставной резак РАО-70 предназначен для ручной вырезки отверстий в листовой низкоуглеродистой стали при ремонтных, монтажных и котельных сварочных работах. Резак имеет спрямленную головку, на которой с помощью хомута закреплено циркульное устройство, обеспечивающее возможность точной вырезки отверстий в листовых элементах. Техническая характеристика резака приведена в табл. 4.

4. Техническая характеристика резака РАО-70

Параметр	Толщина разрезаемой стальной заготовки, мм	
	5—30	30—50
Номер мундштука:		
наружного	1	1
внутреннего	2	3
Давление кислорода, кгс/см²	3—5	5—7
Расход, м³/ч:		
кислорода	2—5	5—8
ацетилена	0,3—0,4	0,4—0,6

Примечание. Давление ацетилена 0,1 кгс/см², диаметр вырезаемых отверстий 25—100 мм; масса резака 0,683 кг.

СПЕЦИАЛЬНЫЕ РЕЗАКИ И УСТАНОВКИ ДЛЯ РУЧНОЙ РЕЗКИ

Нашей промышленностью выпускаются специальные резаки, работающие с применением газов—заменителей ацетилена (РЗР-2, РПА-70, РПК-62). Кроме того, серийно выпускаемые резаки для ацетилено-кислородной резки могут быть с успехом применены и для работы на газах—заменителях ацетилена. При переделке ацетилено-кислородного резака диаметр инжектора должен быть увеличен до 0,9—1,0 мм, диаметр смесительной камеры до 2,8 мм. Щель между наружным и внутренним мундштуком (соплом) в результате увеличения диаметра наружного мундштука увеличивается до 0,9—1,0 мм.

Кроме универсальных резаков керосинорезов автогенная промышленность выпускает специальные резаки для резки стали большой толщины, подводной резки, для поверхностной зачистки, а также ранцевые установки для производства аварийных работ и др.

Резаки РПА-62 и РПК-62 предназначены для удаления кислородной струей местных дефектов на стальных слитках, фасонных отливках и прокате. Кроме того, эти резаки можно использовать для удаления дефектов сварных швов и для чашеобразной подготовки кромок листов под сварку. В качестве горючего у резака РПА-62 применен ацетилен, у резака РПК-62 — коксовый газ. Конструктивно резаки РПА-62 и РПК-62 выполнены однотипно. Резак РПК-62 отличается от резака РПА-62 увеличенными проходными каналами в инжектирующем узле и в мундштуке для горючей смеси. Резак инжекторного типа. Конструктив-

5. Техническая характеристика резаков РПА-62 и РПК-62

Параметр	РПА-62	РПК-62
Расход газов, м³/ч:		
кислорода	18—75	18—75
ацетилена	0,9—1	—
коксового газа	—	4—5
Давление газов, кгс/см²:		
кислорода	8—12	8—12
ацетилена	Не менее 0,02	—
коксового газа	—	Не менее 0,005

Примечание. Масса резака 26 кг.

ная схема подобна универсальному резаку. Техническая характеристика резаков приведена в табл. 5.

Переносная установка ПУРС предназначена для резки листовой низкоуглеродистой стали на ремонтных базах и монтажных работах. Установка состоит из резака инжекторного типа, кислородного и ацетиленового редукторов, кислородного восьмилитрового баллона, ацетиленового трехлитрового баллона, зажигалки и набора инструментов. Установка размещена в переносном дюралюминиевом кожухе с двумя откидными ручками и ремнем.

Техническая характеристика переносной установки ПУРС

Толщина заготовки, мм	До 12
Расход газа, м³/ч:	
кислорода	2—3
ацетилена	0,3—0,8
Давление газа, кгс/см²:	
кислорода	2—3,6
ацетилена	0,1—0,3
Длина реза без перезарядки баллонов (при толщине листа 12 мм), м	Не менее 5
Рабочая температура окружающей среды, °С	От —35 до +45
Габаритные размеры, мм:	
установки	1000×450×345
ящиков с баллонами	865×570×205
Масса, кг:	
установки	65
ящиков с баллонами	140

Установка БУПР-61 предназначена для кислородной резки низкоуглеродистой стали под водой на глубине до 30 м. Установка состоит из резака, работающего на жидком горючем (бензине), пульта управления, включающего газовые редукторы и щиток управления электрозапалом, рамп для подключения кислородных баллонов, бронированных шлангов для кислорода и бензина, электрозапала (для зажигания подогревающего пламени резака под водой). Питание электрозапала от батареи щелочных аккумуляторов напряжением 12 В. Бензин подается в резак азотом.

Техническая характеристика установки БУПР-61

Толщина заготовки, мм	5—100
Наибольшая глубина резки под водой, м	30
Расход:	
кислорода, м³/ч:	
режущего	17,5
подогревающего	18,8
бензина, кг/ч	7,8

Давление кислорода, кгс/см²:	
режущего	15
подогревающего	12
Габаритные размеры (пульта управления и футляра для укладки рамп), мм	560×340×200
Масса установки с баллонами, кг	140

Резак РЗР-2 предназначен для резки металла большой толщины. Питание резака кислородом и горючим газом возможно от рампы или цехового трубопровода. Давление кислорода в трубопроводе должно быть не ниже 10 кгс/см², а горючего газа — не ниже 2 кгс/см². Резак трехшланговый, подача горючего газа, режущего и подогревающего кислорода регулируется вентилями. Давление режущего кислорода контролируется манометром. В резаке применен внутрисопловой способ смешения газов подогревающего пламени. Это повышает надежность против обратных ударов пламени. Для поддержания постоянного расстояния между торцом мундштука и поверхностью металла резак имеет двухколесную, а для резки в труднодоступных местах — одноколесную тележку. Техническая характеристика резака РЗР-2 приведена в табл. 6.

6. Техническая характеристика резака РЗР-2

Показатель	Номер внутреннего мундштука		
	1	2	3
Толщина заготовки, мм	300—400	500—600	700—800
Расстояние между торцом мундштука и поверхностью разрезаемого металла, мм	15	15	20—30
Расход, м³/ч:			
кислорода	45—55	70—80	100—115
пропана	2,5—3,3	4,0—5,0	6,0—7,0
Давление режущего кислорода на входе в резак, кгс/см²	5—7,5	6—7,5	6—7,5

Примечание. Давление пропана не ниже 0,5 кгс/см²; габаритные размеры 1000×470×190 мм; масса 5,5 кг.

Установка УРХС-5 предназначена для ручной кислородно-флюсовой разделительной резки высоколегированных хромистых и хромоникелевых сталей. Она состоит из флюсопитателя ФП-1-65 вместимостью 20 кг и резака с приставкой для внешней подачи флюса в разрез. Для резки могут быть использованы ручные резаки, работающие как на ацетилене, так и на газах—заменителях ацетилена (пропане, природном газе). В случае использования установки УРХС-5 при машиной резке оснастку для подачи флюса в разрез переделывают применительно к машинному резаку. В качестве флюса применяют мелкогранулированный железный порошок ПЖ5М (ГОСТ 9849—74).

Техническая характеристика установки УРХС-5

Толщина заготовки, мм	10—200
Расход газа, м³/ч:	
кислорода	4—38
ацетилена	0,6—1,8
Расход флюса, кг/ч	6—18
Давление газа, кгс/см²:	
кислорода	6—10
ацетилена	Не менее 0,03
флюсонесущего	0,1—0,5
Габаритные размеры, мм	510×500×730
Масса, кг (с флюсом)	36

СТАЦИОНАРНЫЕ МАШИНЫ ДЛЯ КИСЛОРОДНОЙ РЕЗКИ

Классификация машин для кислородной резки приведена в ГОСТ 5614—74. В соответствии с классификацией в обозначение модели введены дополнительные цифровые и буквенные обозначения по исполнению различных технологических оснасток, по исполнению различной длины рельсового пути и климатическое исполнение по ГОСТ 15150—69. Например, заводская модель ПКФ2,5-1,6-10-У4 имеет следующую расшифровку: машина портальная (П) для кислородной резки (К); фотокопировальное контурное управление (Ф); максимальная ширина обрабатываемой поверхности 2,5 м; максимальная скорость резки 1,6 м/мин; технологическая оснастка (дополнительный трехрезаковый поворотный блок (1); длина рельсового пути 8 м (0); климатическое исполнение по ГОСТ 15150—69 (У4).

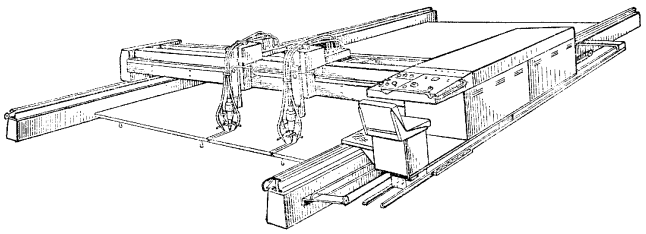


Рис. 1. Машина ПКЛ2,5-1,6-10-У4 портальная для прямолинейной раскройной резки

Машины для прямолинейной раскройной резки. Машины ПКЛ однотипны по конструкции и отличаются друг от друга шириной обрабатываемой поверхности, числом резаковых суппортов и одновременно работающих резаков.

Машины представляют собой портал прямоугольной формы. На рис. 1 показана машина ПКЛ2,5-1,6-10-У4 (Днепр 2,5К-1,6). Для повышения точности обработки машины имеют реечные зацепления на поперечном и продольном ходу. Электрическая часть выполнена по блочной схеме с использованием электронных элементов. Машина оснащена плавающим устройством стабилизации резаковых суппортов над поверхностью металла. Управление подачей газов — дистанционное автоматическое. Для удобства обслуживания на машине имеется площадка с креслом и пультом управления. На машинах можно выполнять следующие технологические операции: 1) прямолинейную резку листов на карты и заготовки вертикальными резаками; 2) прямолинейную резку листов с подготовкой кромок под сварку с V- и X-образной разделкой; 3) вырезку прямолинейных окон; 4) вырезку симметричных деталей прямолинейного контура; 5) разрезку листов на полосы одновременно несколькими резаками. Техническая характеристика машин приведена в табл. 7.

Машины для фигурной резки. Стационарные машины для фигурной резки по конструктивной схеме изготовляют шарнирными, портальными и портально-консольными. По системе контурного управления — магнитные, фотоэлектрические, программные.

Машины с магнитным контурным управлением шарнирного типа. Машина АСШ-70-74 предназначена для вырезки деталей небольших габаритов. На машине может быть вырезано одновременно три однотипных детали. Однако точность при

7. Техническая характеристика портальных машин для кислородной резки

Параметр	С фотоэлектрическим управлением					
	ПКФ-2,5-1,6-У4	ПКФ-2,5-1,6-10-У4	ПКФ-3,5-1,6-10-У4	ПКФ-6-1,6-10-У4	ПКФ-8-У-16-У4	«Звенит-2»
Габаритные размеры обрабатываемых листов, мм:						
длина	8 000	8 000	8 000	8 000	16 000	10 000
ширина	2 500	2 500	2 500	5 000	8 000	2 500
Масштаб копирования	10 : 1	10 : 1	10 : 1	10 : 1	10 : 1	10 : 1
Класс точности машины (ГОСТ 5614—74)	2	2	2	2	2	2
Число суппортов, шт.:						
однорезаковых	2	2	2	2	4	1
трехрезаковых:						
для раскройной резки	1	1	1	1	1	1
для фигурной резки	1	1	1	1	2	1
Потребляемая мощность, кВА	3	3	3	3	5	3,5
Масса кодовой части, кг	2 500	2 500	2 500	3 000	3 716	2 800
Габаритные размеры (с рельсовым путем), мм	2 000×4 300×11 760	2 000×4 300×11 760	2 000×5 300×11 760	2 000×6 800×11 760	2 000×9 800×19 760	780×3 800×11 000

Продолжение табл. 7

Параметр	С цифровым программным управлением		Линейные для прямолинейной резки			
	«Кристалл 2,5»	«Кристалл 3,2»	ПКЛ12,5-1,6-10-У4	ПКЛ13,5-1,6-10-У4	ПКЛ15-1,6-10-У4	ПКЛ18-1,6-12-У4
Габаритные размеры обрабатываемых листов, мм:						
длина	10 000	16 000	8 000	8 000	8 000	16 000
ширина	2 500	3 200	2 500	3 500	5 000	8 000
Масштаб копирования	1	1	1	1	1	1
Класс точности машины (ГОСТ 5614—74)	1	1	2	2	2	2
Число суппортов, шт.:						
однорезаковых	1	—	1	1	1	1
трехрезаковых:						
для раскройной резки	—	—	2	2	2	4
для фигурной резки	1	1	—	—	—	—
Потребляемая мощность, кВА	2,5	2,5	2,5	2,5	3,0	4,0
Масса ходовой части, кг	800	900	1 600	1 600	2 000	2 500
Габаритные размеры (с рельсовым путем), мм	780× ×3 800× ×11 000	780× ×3 800× ×17 000	2 000× ×4 300× ×11 760	2 000× ×5 300× ×11 760	2 000× ×6 800× ×11 760	2 000× ×9 800× ×19 760

Примечания: 1. Толщина обрабатываемых листов 5—100 мм. 2. Расход газов на один резак, м³/ч: 1—12 кислорода; 0,8 ацетилена; 0,5 пропана; 1,2 природного газа. 3. Давление газов (перед машиной), кгс/см²: 10 кислорода; 1,0 ацетилена; 1,0 пропана и природного газа. 4. Ток питающей сети трехфазный. 5. Напряжение питающей сети 380 В.

многорезаковой резке снижается. В однорезаковом исполнении обеспечивается первый класс точности, что позволяет применить машину для вырезки деталей без дальнейшей механической обработки (крупномодульные шестерни, звездочки, фланцы и другие детали).

Техническая характеристика машины АСШ-70-74

Толщина обрабатываемого листа, мм:	
одним резаком	5—150
тремя резаками	5—100
Габаритные размеры деталей, вырезаемых по копиру, мм:	
при работе одним резаком	1500×750 или 1000×1000
при работе тремя резаками	400×1300
Скорость перемещения резака, мм/мин	100—1600
Расход газа на один резак, м³/ч:	
кислорода	1—12
ацетилена	0,35—1,2
природного газа	1,2
пропана	0,6
Давление, кгс/см²:	
кислорода	2—8
газов-заменителей ацетилена	0,35—1,2
Класс точности (ГОСТ 5614—74), мм:	
при работе одним резаком	1
при работе тремя резаками	3
Толщина стального копира, мм	6—8
Диаметр магнитного пальца, мм	12
Напряжение сети, В (при 50 Гц)	220
Потребляемая мощность, кВА	0,1
Габаритные размеры (при вытянутых шарнирных рамах), мм	950×1910×1800
Масса, кг	345

Машина СГУ-1-60 портально-консольного типа имеет передвижной копировальный стол, благодаря чему исключается необходимость перестановки копиров по длине листа. Механическую копировальную головку и циркульное устройство поставляют по отдельному заказ-наряду. Машина обеспечивает вырезку фигурных деталей без копира по чертежу и бескопирную вырезку дисков и фланцев. Электросхема станка обеспечивает возможность дистанционного управления подачей рабочих газов, подъемом и опусканием резаков, включением магнитного пальца.

Техническая характеристика машины СГУ-1-60

Габаритные размеры обрабатываемых листов, мм:	
длина	8000
ширина	2000
толщина	5—100
диаметр (при вырезке фланцев и дисков)	240—2000
Скорость перемещения резаков, мм/мин:	
I ступень	От 80 до 800
II ступень	» 400 » 4000
Расход газов на один резак, м³/ч:	
кислорода	12
ацетилена	0,7
Класс точности по ГОСТ 5614—74	2
Число резаков	1—2
Габаритные размеры станка с рельсовым путем, мм:	
длина	10 650
ширина	4 970
высота	1 770
Масса ходовой части машины, кг	850

Машины с фотоэлектрической системой управления. Машины ПКФ портального типа по конструктивной схеме портала подобны машине ПКЛ. Они имеют масштабное фотокопировальное устройство, работающее по специальным копир-чертежам. Машины при дополнительной оснастке могут выполнять фигурную вырезку со скосом кромок под сварку трехрезаковым поворотным блоком. Управление машиной — с пульта, расположенного на каретке машины. Для удобства обслуживания на каретке имеется площадка с креслом. Машина оснащена устройством автоматического управления технологическими командами, включения-отключения кислорода и горючего газа, зажигания резаков, пробивки отверстия для начала резки, дистанционного управления изменением скорости движения резаковых суппортов. Имеется стабилизатор высоты расположения блока над поверхностью листа. Основными частями машины являются: исполнительный механизм, командный механизм с электронной схемой управления, системой газопитания и вспомогательного устройства. Машины могут быть изготовлены для различной ширины обрабатываемой поверхности (2,5; 3, 5—5 и 8 м для кислородной резки или плазменно-дуговой резки). Завод-изготовитель НПО «Кислородмаш» им. 60-летия Великой Октябрьской социалистической революции (г. Одесса).

Машина «Зенит» портального типа предназначена для работы в поточных линиях газовой вырезки деталей из листовой стали, а также может быть использована автономно в заготовительных цехах судостроительной промышленности. В машине предусмотрена возможность автоматического выполнения технологических команд, фигурной вырезки деталей со скосом кромки под сварку, автоматической остановки в случае нарушения нормального процесса. Машина оснащена стабилизатором высоты расположения блока резаков над поверхностью разрезаемого листа.

Машину изготовляют для различной ширины обрабатываемой поверхности.

Машины с программным управлением. Машина «Кристалл» представляет собой портал, однотипный с порталом машины типа «Зенит». Управление машиной и всеми технологическими командами — программное по перфоленте. Машина имеет трехрезаковые блоки для фигурной вырезки деталей со скосом кромок под сварку и стабилизатор высоты расположения блока резаков над поверхностью листа. Машину изготовляют для различной ширины обрабатываемой поверхности. Техничсская характеристика машины приведена в табл. 7.

МАШИНЫ ДЛЯ ПЛАЗМЕННО-ДУГОВОЙ РЕЗКИ

Машины для раскройной резки. Машина ППл 2,5-У4 предназначена для раскроя листового проката из низкоуглеродистых и коррозионно-стойких сталей, цветных металлов и их сплавов. Машина портального типа. Исполнительная часть машины унифицирована с раскройной машиной ПКЛ2,5-1,6-10-У4 для кислородной резки. На машине установлены блоки управления ЭРД-2 плазморежущей оснасткой. Машину изготовляет НПО «Кислородмаш» (г. Одесса). Техническая характеристика машины приведена в табл. 7 и 8.

Машины для фигурной резки с фотоэлектрическим управлением. Машина ППлФ2,5-00У4 портального типа. Исполнительная часть машины унифицирована с машиной ПКФ2,5-1,6-10-У4 для кислородной резки. Машина оснащена установкой АВПР-Киев для воздушно-плазменной резки. Завод-изготовитель НПО «Кислородмаш» (г. Одесса).

Машина «Зенит Пл-2,5» портального типа. Исполнительная часть машины унифицирована с машиной «Зенит К-2,5». Машина оснащена установкой для воздушно-плазменной резки.

Машины «Кристалл Пл-2,5» и «Кристалл Пл-3,2» портального типа. Исполнительная часть машин унифицирована с машинами «Кристалл К-2,5» для кислородной резки. Управление всеми технологическими командами — программное по перфоленте. Техническая характеристика машин приведена в табл. 8.

8. Техническая характеристика портальных машин для плазменно-дуговой резки

Параметр	Управление: фотоэлектрическое	Управление: программное				Управление: линейное
	«Зенит Пл-2,5»	ППлФ2,5-6-У4	«Кристалл Пл-2,5»	«Кристалл Пл-3,2»	«Кристалл Пл-3,2×2»	ППлЭлФ6-У4	ППлЭлФ8,5-У4
Габаритные размеры обрабатываемых листов, мм: длина	10 000	8 000	10 000	10 000	10 000	8 000	8 000
ширина	2 500	2 500	2 500	3 200	Два листа по 3 200	3 500	2 500
толщина (по алюминию)	30	60	30	30	30	60	60
Масштаб копирования	10 ; 1	10 ; 1,5 : 1	—	—	—	—	—
Класс точности (ГОСТ 5614—74)	2	2	1	1	2	2	2
Потребляемая мощность без источника питания, кВА	3,5	3	2,5	2,5	3,2	3,0	2,5
Масса ходовой части, кг	900	1 900	800	900	—	2 000	1 900
Габаритные размеры (с рельсовым путем), мм	780× ×3 800× ×11 000	750× ×3 500× ×11 760	700× ×3 810× ×11 000	700× ×3 810× ×11 000	700× ×8 000× ×11 000	2 000× ×5 300× ×11 760	2 600× ×4 300× ×1 680
Рабочая скорость движения резака, мм/мин, до	4 000	6 000	4	4	4	6 000	10 000

Примечания: 1. Число резаков 1, 2. Расход, м³/ч: 2—3 воздуха; 0,6—1 воды. 3. Давление, кгс/см²: 4—6 воздуха, 2—3 воды. 4. Ток питания сети трехфазный. 5. Напряжение сети 380 В.

ПЕРЕНОСНЫЕ ГАЗОРЕЗАТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ

Машина «Микрон-2» предназначена для механизированной кислородной резки листовой низкоуглеродистой стали одним или двумя резаками. Выполняет следующие операции: прямолинейную обрезку кромок листов (вертикальную и со скосом под сварку), вырезку деталей с большим радиусом кривизны, вырезку фланцев и дисков. Скорость до 4000 мм/мин позволяет применить высококачественную кислородную скоростную резку (смыв-процесс) и плазменно-дуговую резку. Машина состоит из двух основных частей: самоходной тележки, перемещающейся по поверхности листа металла, и блока электропитания.

Техническая характеристика машины «Микрон-2»

Толщина разрезаемой стали, мм	5—100
Толщина разрезаемой стали по спецзаказу, мм	До 300
Расход газов на один резак, м³/ч:	
кислорода	До 22
ацетилена	До 0,55
Рабочее давление газов, кгс/см²:	
кислорода	До 8
ацетилена	0,1—1,0
Напряжение сети, В:	
к блоку питания	220
к машине	24
Скорость перемещения машин, мм/мин	100—4000
Число резаков, шт.	2
Габаритные размеры вырезаемых деталей, мм:	
ширина полос	330
диаметр вырезаемых фланцев	300—3000
Масса, кг:	
без циркуля	17
блока питания	4,2

Машина «Спутник-3» предназначена для обрезки торцов стальных труб в цеховых и монтажных условиях. Выполняет обрезку торцов стальных труб без скоса и со скосом кромок до 35° относительно торца труб. Машина имеет самоходную тележку, перемещающуюся по поверхности трубы с помощью специальной цепи, державку с резаком, блок питания.

Технические характеристики машины «Спутник-3»

Диаметр разрезаемых труб, мм	194—1620
Толщина стенок, мм	5—75
Скорость резки, мм/мин	150—750
Число резаков, шт.	1
Расход газов на один резак, м³:	
кислорода	12
ацетилена	0,65
природного газа	1,0
пропан-бутана	0,4
Рабочее давление газов, кгс/см²:	
кислорода	6
горючего газа	0,10
Напряжение, В:	
подводимое к блоку питания	220
питания ходовой части машины	24
Масса, кг:	
ходовой части	16,3
блока питания (без кабеля)	4,2
Завод-изготовитель	Кировакан-ский завод Автогенмаш

Машина переносная «Орбита-2» предназначена для кислородной резки труб в полевых условиях при строительстве магистральных трубопроводов. В отличие от машин типа «Спутник» машина «Орбита-2» направляется по специальному стальному гибкому поясу, что обеспечивает полное совпадение начала и конца реза. Машина оснащена копировальным устройством, позволяющим обрезать торцы труб под углом 1,5, 3 и 6° к оси трубы. Машина имеет два резака для вырезки бракованных швов и вварных катушек.

Техническая характеристика машины «Орбита-2»

Размеры разрезаемых труб, мм:	
диаметр	219—1420
толщина стенок	5—75
Скорость резки, мм/мин	200—700
Регулировка скорости	Бесступенчатая
Число резаков, шт.	2
Расход газов, м³/ч:	
на два резака при резке труб толщиной до 30 мм:	
кислорода	До 14
ацетилена	До 1,1
на один резак при резке труб толщиной 75 мм:	
кислорода	12
ацетилена	0,65
Давление газа, кгс/см²:	
кислорода	6
ацетилена	0,1
Напряжение сети, В	24
Потребляемая мощность, Вт	150
Мощность электродвигателя привода, Вт	23,5
Масса ходовой части машины, кг:	
с электродвигателем	18,4
с ручным приводом	19,7
Габаритные размеры, мм	670×450×270

МАШИННЫЕ РЕЗАКИ

Рабочим инструментом машины для кислородной резки является газовый резак. Основными требованиями, предъявляемыми к машинным резакам, являются: устойчивость против хлопков и обратных ударов, обеспечение высокого качества поверхности реза и высокая скорость резки. В зависимости от принципа смешения газов подогревающего пламени резаки делят на инжекторные, равного давления и внутрисопловые. В качестве горючего газа в машинных резаках применяют ацетилен или газы—заменители ацетилена.

Инжекторные резаки. Схема смешения газов подогревающего пламени машинных резаков инжекторного типа подобна схеме ручных резаков «Маяк». Все выпускаемые промышленностью машинные резаки инжекторного типа различаются только конструктивным оформлением. Резак состоит из трех основных узлов, корпуса с запорными вентилями, ствола, с помощью которого резак закрепляется на суппорте машины, и головки с мундштуками.

Резаки равного давления. При многорезаковой машинной резке необходима стабильность горения газов подогревающего пламени. Инжекторные резаки очень чувствительны к изменению давления горючего газа в сети, а также к брызгам расплавленного металла, что отражается на устойчивости работы резаков. Поэтому для многорезаковых газорезательных машин используют резаки равного давления. Резак равного давления не имеет инжектора. Подогревающий кислород подается через центральное отверстие, а горючий газ — через боковое. Смесь газов поступает в головку резака, которая по устройству не отличается от инжекторного резака. Для поддержания заданного давления горючего газа перед резаком установлен специальный регулятор давления.

Техническая характеристика машинных резаков приведена в табл. 9.

9. Техническая характеристика машинных резаков

Тип резака	Машина, для которой предназначен резак	Толщина разрезаемой стали, мм	Расход газов, м³/ч		Рабочее давление кислорода, кгс/см²	Масса, кг	Комплект сменных мундштуков
			кислорода	ацетилена			
РМ-0-РД-450	ПКФ2,5-1,600У4 и др.	5—300	2—28	0,5—1,2	2—12	1,25	Н № 1—2, В № 1—5
РМ-3-И-450	СГУ	5—300	2—28	0,3—1,2	2—12	1,25	Н № 1—2, В № 1—5
РШМ-3-И-395	ШК1-1,6М	5—100	2—13	0,3—0,8	2—8	1,8	Н № 1, В № 3
РМ-2-И-330	«Радуга»	5—300	2—28	0,3—1,2	2—12	1,0	Н № 1—2, В № 1—5
РМ-3-И-265	«Спутник»	5—50	2—8	0,3—0,8	2—6	0,89	Н № 1, В № 1—3

Примечания: 1. Буквы и цифры в обозначении типа резака означают: РМ — резак машинный; однозначное число — число вентилей; И — инжекторный; РД — равного давления; трехзначное число — длину резака. 2. Рабочее давление ацетилена 0,1—0,3 кгс/см². 3. Диаметр ствола 28 мм. 4. Н — наружный комплект мундштуков, В — внутренний.

АППАРАТУРА ДЛЯ ПЛАЗМЕННО-ДУГОВОЙ РЕЗКИ

Комплект оборудования для плазменно-дуговой резки (рис. 2) состоит из плазмотрона, устройств для его охлаждения и перемещения по линии реза, пульта управления процессом резки, источников тока и рабочей среды. Если при обработке труб, обечаек, дниц и т. п. плазмотрон закрепляют неподвижно, то в ряде случаев предусматривают устройства для рабочего перемещения объекта относительно плазмотрона. Основные параметры комплектов резательного оборудования

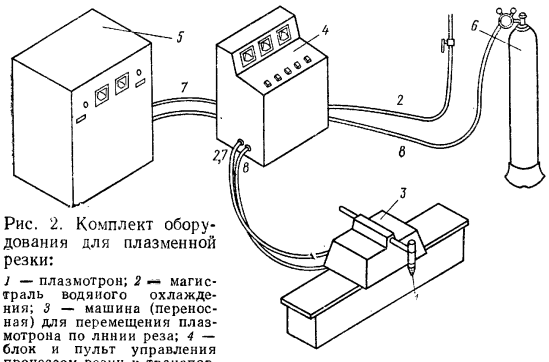


Рис. 2. Комплект оборудования для плазменной резки:

1 — плазмотрон; *2* — магистраль водяного охлаждения; *3* — машина (переносная) для перемещения плазмотрона по линии реза; *4* — блок и пульт управления процессом резки и транспортирующей машиной; *5* — источник тока; *6* — баллон со сжатым газом; *7* — токовые коммуникации; *8* — газовые коммуникации

10. Основные параметры комплектов резательного оборудования

Типоразмер по ГОСТ 12221—71	Резка	Толщина резки, мм	Рабочий ток, А	Мощность дуги, кВт	Напряжение холостого хода, В	ПВ, %
Плр-20/250	Ручная	20	250	30	180	60 *
Плр-50/250	»	50	250	30	180	60 *
Плрм-80/400	Ручная или машинная	80	400	50	180	60 *
Плм-10/100	Машинная	10	100	20	300	100
Плм-60/300	»	60	300	60	300	100
Плм-160/600	»	160	600	180	400	100
Плм-300/1600	»	300	1000	300	500	100
Плмт-50/300	Машинная высокой точности	50	300	60	400	100

* Продолжительность цикла 10 мин.

регламентированы ГОСТ 12221—71 (табл. 10). Аппараты для резки металла малой толщины (до 10 мм, ток до 100 А) часто называют микроплазменными.

По способу транспортировки плазмотрона различают машинные и ручные режущие устройства. Управление машинными устройствами может быть автоматическим или полуавтоматическим. В автоматических вручную осуществляют практически только запуск процесса; в полуавтоматических наряду с автоматическим циклом подачи газов, напряжения и тока часть операций выполняют вручную. В ручных устройствах рабочими операциями управляют вручную или применяют полуавтоматическое управление.

ГОСТ 12.2.007.8—75 устанавливает напряжение холостого хода источников тока для плазменной резки: не более 500 В для автоматических устройств, 300 В для полуавтоматических устройств и 180 В для устройств ручной резки.

Важнейшим элементом комплекта является режущий плазмотрон (плазменный резак). Режущие дуги питают постоянным током прямой полярности. Конструктивная схема плазмотрона и оформление его элементов зависят от рабочей среды, способа ее подачи в дуговую камеру, зажигания дуги и системы охлаждения. Различают плазмотроны: для химически неактивных (нейтральных) газов, для окислительных газов, двухпоточные — для окислительных и нейтральных сред и с газожидкостной стабилизацией. Плазмотроны со стабилизацией дуги водой получили ограниченное применение.

Простейшее устройство имеют нейтрально-газовые плазмотроны (рис. 3). Изолированные катодный и сопловой узлы образуют дуговую камеру с формирующим каналом. В торцовой части камеры установлен катод из вольфрама, стабилизированный окислами тория, иттрия, лантана или другими примесями, повышающими эмиссионные свойства и стойкость вольфрама против взаимодействия при высоких температурах с кислородом и другими активными газами. Износ катода проходит под действием теплоты, выделяющейся в катодной области дуги.

Вольфрамовые катоды изготовляют в виде стержней диаметром 3—6 и длиной 50—150 мм или коротких цилиндрических вставок диаметром 2—3 и длиной 5—6 мм. В плазмотронах со стержневым вольфрамом, закрепляемым в цангах или зажимах, рабочую среду обычно подают соосно катоду. Для фиксации катодного пятна дуги рабочему участку катодного стержня придают заостренную форму. Соосная (аксиальная) подача газа позволяет при меньшем рабочем напряжении растянуть дугу на большую длину, что важно для ручной резки и для резки металла большой толщины.

В машинных плазмотронах для резки металла средней толщины (рис. 3,*б*) предпочитают использовать гильзовые катоды: Вставку из тугоплавкого мате-

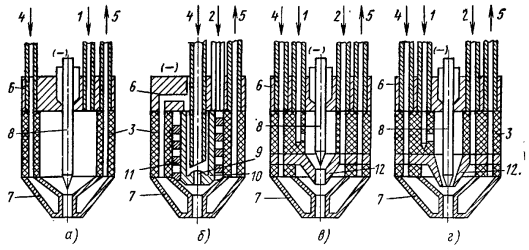


Рис. 3. Режущие плазмотроны (плазменные резаки):

а — нейтрально-газовый с осевой стабилизацией дуги; *б* — машинный с вихревой стабилизацией для резки металла средней толщины; *в* — двухпоточный, генерирующий плазму защитного газа; *г* — двухпоточный, генерирующий окислительную плазму: *1* — нейтральный (защитный) газ; *2* — окислительный газ (кислород, сжатый воздух); *3* — нетоковедущий корпус плазмотрона; *4*, *5* — вход и выход охлаждающей воды; *6* — катодный узел; *7* — формирующий наконечник (сопловой узел); *8* — стержневой вольфрамовый катод; *9*—гильзовый (вольфрамовый или пленочный) катод; *10* — катододержатель вставки гильзового катода; *11* — завихритель; *12* — внутреннее сопло защитного газа

риала запрессовывают в канал гильзы-катододержателя из меди или другого теплопроводного металла. Хвостовик гильзы интенсивно охлаждают водой или воздухом. Это улучшает условия охлаждения катода и увеличивает срок службы катодной вставки. Гильзовые катоды обычно имеют плоский торец. При этом дугу стабилизируют закрученным потоком газа. Вихрь фиксирует катодную область дуги в центре торца вставки. Активное пятно изнашивает вставку, образуя постепенно углубляющуюся полость. Ее диаметр и глубина зависят от интенсивности ввода теплоты в катод и теплопередачи охлаждающей среде.

Гильзовые катоды широко применяют в плазмотронах, использующих в качестве рабочей среды сжатый воздух. При этом катодные вставки из тугоплавких металлов (циркония или гафния) при высоких температурах образуют еще более тугоплавкие и стабильные окислы (табл. 11). Такие катоды называют пленкозащитными или пленочными. При их работе в основании дуги образуется слой расплава, содержащего окислы и нитриды катодного материала. Высокая эмиссионная способность и низкое электрическое сопротивление этих соединений при высоких температурах обусловливают существование катодного пятна. Регулярный износ катодных вставок происходит в результате испарения окисно-нитридного расплава. Наряду с ним большое значение имеет разовый износ вставки при зажигании дуги.

11. Характеристика материалов, используемых для катодных вставок

Металлы, окислы и нитриды	Плотность, г/см³	Температура, °С		Коэффициент теплопроводности, Вт/(см·°С)	Удельное сопротивление, Ом·см	Работа выхода электронов, эВ
		плавления	кипения			
Вольфрам	19,3	3650	6210	1,97	$5,5\cdot10^{-6}$	2,63
Цирконий	6,45	1852	3577	0,167	$39,6\cdot10^{-6}$	5,8
Двуокись циркония	5,6	2700	4300	0,02 *	$8\cdot10^{-4}$*	4,1—5,8
Нитрид циркония	7,09	2980	3505	0,1	$1\cdot10^{-4}$	2,92
Гафний	13,29	2225	5400	0,223	$32,4\cdot10^{-6}$	2,32
Окись гафния	10,446	2900	3273	0,016	$6\cdot10^{-2}$	3,8—5,8
Нитрид гафния	13,84	3310	—	0,1 *	$1\cdot10^{-4}$	3,85

Примечание. Коэффициенты теплопроводности и удельные сопротивления приведены для температуры 20° С, за исключением отмеченных знаком *, которые определены для 730° С.

Плазмотроны с пленочными катодами используют также для резки дугой, стабилизированной кислородом. Стойкость катодов при этом несколько уменьшается.

Для тангенциальной подачи рабочей среды в дуговую камеру вихревых плазмотронов предусматривают завихрительные устройства. В простейшем случае плазмообразующий газ подают в дуговую камеру по каналам, выведенным по касательной к ее стенкам. Эффективны завихрительные шайбы, изготовляемые из жаростойкой керамики и располагаемые непосредственно под рабочим торцом катода. Недостатком таких устройств является невысокая прочность керамики. Рациональная конструкция завихрителя, выполненного в виде резьбы на наружной поверхности катододержателя, плотно устанавливаемого в гнезде корпуса плазмотрона.

Для резки в кислородсодержащих средах используют также плазмотроны с пустотелым цилиндрическим (втулочным) катодом из меди. Такой катод интенсивно охлаждают водой. Плазмотрон снабжают системой вихревой стабилизации дуги. Под действием вихря катодное пятно быстро движется по внутренней поверхности втулочного катода, не разрушая его.

В двухпоточных плазмотронах в качестве рабочего газа используют воздух или кислород. Катодом служит вольфрам, который защищают от окисления, обдувая его нейтральным газом (азотом или аргоном). С этой целью дуговую камеру снабжают двумя соосными соплами. Во внутреннее подают небольшое количество нейтрального газа, в наружное — рабочий газ. Рабочая часть катода может быть размещена в полости под внутренним соплом (рис. 3, *в*) или между внутренним и наружным соплом (рис. 3, *г*). В первом случае в плазму превращается преимущественно защитный газ, а рабочий служит в основном для стабилизации дуги. По второй схеме возможно получить поток плазмы с высоким содержанием кислорода.

В последнее время нередко применяют плазмотроны с газожидкостной стабилизацией дуги. Как правило, они имеют формирующую систему, аналогичную нейтрально-газовым, активно-газовым или двухпоточным плазмотронам. Однако сопловой узел снабжают системой каналов, по которым в сжатый столб режущей дуги подают воду. Для стабилизации дуги применяют также двухфазные газожидкостные потоки, вводя их преимущественно по схеме двухпоточного плазмотрона. Количество воды, стабилизирующей дугу, устанавливают таким, чтобы вода полностью испарялась. При газожидкостной стабилизации повышается концентрация энергии в столбе дуги и улучшаются ее режущие свойства. При резке дугой с водовоздушной стабилизацией наблюдается меньшее насыщение стальных кромок азотом, чем при воздушноплазменной резке. В плазмотронах с подачей жидкости в формирующее сопло улучшаются условия его охлаждения и т. д.

Наряду с системами газожидкостной стабилизации дуги применяют плазмотроны с водяной завесой и с газожидкостной системой охлаждения. В плазмотронах с водяной завесой систему водяных каналов предназначают для формирования водяной оболочки вокруг столба дуги. Вода охлаждает кромки разрезаемого металла, что сводит к минимуму зону термического влияния. Уменьшается уровень шума, излучения и выделения аэрозолей при резке.

Наконечник плазмотрона предназначен для формирования режущей дуги. Форма и размеры его соплового канала обусловливают свойства и параметры дуги. С уменьшением диаметра и увеличением длины возрастают скорость потока плазмы, концентрация энергии в дуге, ее напряжение и режущая способность. Сохранение формы и размеров сопла определяют срок его службы. Сопло —

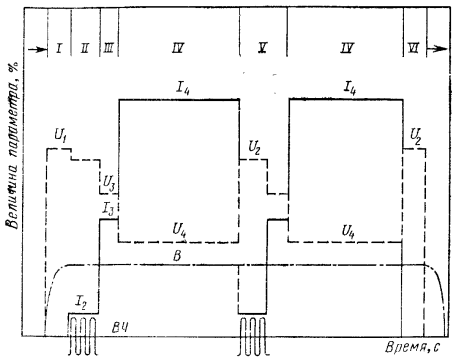


Рис. 4. Циклограмма плазменной резки (упрощенная):

U — напряжение; *I* — ток; *ВЧ* — ток высокого напряжения высокой частоты; *B* — расход плазмообразующего газа (в данном случае — сжатого воздуха). *I* — подача напряжения и газа; *II* — зажигание вспомогательной дуги; *III* — возбуждение промежуточной дуги; *IV* — резка; *V* — холостой переход; *VI* — отключение напряжения и рабочего газа

наиболее теплонапряженный элемент плазмотрона. Чтобы при стабилизации мощных дуг с температурой плазмы 10—20 тыс °С и скоростью, превышающей скорость звука, между стенками канала и потоком плазмы в столбе дуги существовал слой относительно холодного газа, ток и расход газа выбирают в соответствии с диаметром и длиной сопла. Наилучшим материалом для изготовления сопел служит медь высокой чистоты. Для охлаждения сопел используют систему водя-

ных каналов. При резке дугами небольшой мощности применяют сопла с воздушным охлаждением. Участок сопла, служащий формирующим каналом, выполняют сменным.

Узел управления предназначен для выполнения операций, составляющих эксплуатационно-технологическую циклограмму резки (рис. 4), включения, регулирования, контроля и выключения подачи напряжения, тока, рабочих газов и охлаждающей воды, зажигания дуги, управления движением резака по контуру реза и т. п.

В автоматизированных устройствах предусматривают блокировку аппарата в случае прекращения подачи охлаждающей воды и рабочих газов. Режущую дугу в плазмотронах зажигают с помощью вспомогательного слаботочного разряда между катодом и вспомогательным анодом (соплом). Его возбуждают, замыкая зазор вручную проводящей вставкой, а в автоматизированных устройствах — наложением высокого напряжения высокой частоты. В ряде случаев вспомогательную дугу возбуждают в газе с пониженным потенциалом ионизации или при уменьшенном расходе рабочего газа.

В составе узла управления машинных устройств предусматривают схему выдержки паузы до запуска двигателя привода. Это обеспечивает выход дуги на рабочий режим и полное прорезание толщины металла на начальном участке. Если резку начинают не с края листа, то для пробивки отверстия предусматривают также кратковременный подъем плазмотрона.

Узел управления с соответствующим пультом и контрольно-измерительными приборами монтируют на режущей машине, источнике тока или в виде самостоятельного блока. Для удобства управления предусматривают дублирующий выносной пульт. В ручных резаках вместо блока управления могут быть использованы ручные вентили, клапаны и дистанционные включающие устройства. Техническая характеристика современных ручных и машинных промышленных аппаратов для плазменно-дуговой резки приведена в табл. 12.

12. Техническая характеристика промышленных аппаратов для плазменно-дуговой резки

Параметр	КДП-2	УПР-201У3	ПВП-1У2	«Киев-4»	АБПР-3	«Киев-2»	УВПР-Киев (АВПР-2)	АПР-402У4	ОПР-6-3М
Тип по ГОСТ 12221—71	Плр-50/250	Плр-20/250	Плр-20/250 (Плм-60/300)	Плр-50/250	Плм-10/100	Плм-10/100	Плм-60/300	Плм-60/300	Плм-160/600
Наибольшая толщина заготовки (из алюминия), мм	50	40	20 (60)	60	10	60	60	130	220
Рабочий газ	Азот (+воздух)		Воз	дух					Азот и смеси с водородом
Номинальный расход, м³/ч	—	80—100	2—5	2—3	—	0,5—1	2—3	1,5—8,0	
Напряжение холостого хода, В	180	180	180 (220)	180	220	300	300	300	340/180
Рабочий ток, А	250	150—250	250 (300)	100—300	100	50—200	150—300	100—500	100—700
Потребляемая мощность, кВА	—	36	—	54	—	60	90	120	—
ПВ, %	60	100	60 (100)	100	100	100	100	100	100
Тип плазмотрона	РДП-2	—	—	—	ВПРМ-1	ВПР-10	ВПР-9	ПВР-1	РПМ-6, РПР-6
Источник тока	—	Тиристорный	3×ПД-501	Индуктивно-емкостной	ВД-301	Тиристорный	3×СТШ-500	Тиристорный	ИПР-140/700
Габаритные размеры, мм	—	1069×816×940	—	840×700×1510	—	790×876×1600	770×550×1200	856×1124×1800	2000×800×1600
Масса, кг	—	400	—	700	—	500	630	1000	1300

Примечания: 1. Охлаждение источника у аппарата ОПР-6 водяное; у всех остальных аппаратов — воздушное, всех остальных аппаратов — водяное. 2. Охлаждение промышленных аппаратов КДП-2 и

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ДЛЯ ПЛАЗМЕННО-ДУГОВОЙ РЕЗКИ

Источник питания при плазменно-дуговой резке должен обеспечивать устойчивое горение и постоянство рабочего тока дуги, горение которой сопровождается рядом флуктуационных, термодинамических и электрических процессов, приводящих к изменению напряжения с различными частотами. Вольт-амперная характеристика (ВАХ) такой дуги представляет собой полосу, ширина которой определяется амплитудой имеющихся колебаний (рис. 5).

При резке также важно, чтобы рабочий ток в момент зажигания нарастал либо плавно, либо ступенчато. Время нарастания определяется секундами. Источники питания плазменных резаков должны иметь возможно меньшие массу и габариты, высокий КПД, cos φ и обеспечивать возможность регулирования рабочего тока. В наибольшей мере указанным требованиям удовлетворяют специализированные источники тока. Основные параметры выпрямителей (рабочий ток, условное рабочее напряжение, напряжение холостого хода, пределы регулирования рабочего тока, режим ПВ и др.) регламентированы ГОСТ 14935—77 (табл. 13). Формирование крутопадающих внешних статических характеристик (ВСХ) в современных выпрямителях осуществляется применением дросселей насыщения (*L*), использованием схем с управляемыми полупроводниковыми элементами (тиристорных выпрямителей), а также схем, работающих по принципу резонанса напряжения в трехфазных цепях (параметрических источников тока) или использованием трансформаторов с падающей ВСХ.

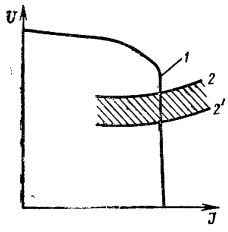


Рис. 5. Внешняя статическая характеристика источника тока (*1*) и вольт-амперная характеристика режущей дуги (*2—2'*)

Наиболее простую электрическую схему имеют выпрямители, в которых падающая ВСХ сформирована применением силовых трансформаторов с соответствующей характеристикой. Например, в серийно изготовляемых аппаратах УВПР-Киев и АВПР-2 для воздушно-плазменной резки три сварочных трансформатора (СШТ-500 или ТД-500) соединены в трехфазную схему с выпрямительным мостом на кремниевых вентилях *V1—V6* (рис. 6). Вторичные обмотки трансформаторов выполнены двумя изолированными шинами, поэтому при пересоединении их последовательно можно вдвое увеличить напряжение и соответственно уменьшить ток. Если при этом обмотки трансформатора соединить по схеме треугольник—звезда, то выпрямленное напряжение достигает 300 В. Эти аппараты характеризуются значительными массой и габаритами и имеют пологопадающие ВСХ.

Формирование крутопадающих ВСХ источника питания с дросселями насыщения осуществляется изменением реактивного сопротивления путем регулирования постоянным током величины подмагничивания магнитопровода. ДН представляет собой замкнутый магнитопровод, на который надеты реакторная (силовая) обмотка и обмотка подмагничивания. Наиболее совершенной схемой выпрямителя с дросселем насыщения является схема источника ИПР-120/600 (рис. 7, *а*).

Неизменное направление тока в реакторных обмотках дросселя (обмотки *WC*), включенных последовательно с кремниевыми вентилями выпрямительного моста, дает возможность осуществить внутреннюю обратную связь. Сердечники дросселя намагничиваются рабочим током, что позволяет существенно уменьшить расчетную мощность, габариты, ток управления и резко повысить коэффициент усиления. Благодаря дополнительным обратным связям ВСХ выпрямителя ИПР-120/600 отличаются высокой крутизной, неизменной в широком диапазоне рабочего тока и напряжения (рис. 7, *б*).

13. Основные параметры выпрямителей для плазменно-дуговой резки

Номинальный рабочий ток, А	Условное рабочее напряжение на дуге, В, не менее	Напряжение холостого хода, В, не более	Номинальный режим работы ПВ, %, не менее	Минимальный рабочий ток, А, не более	Резка
100 200 315 400	130	180	60 *	50 100 160 200	Ручная
100 200 315 400 500	200	300		50 100 160 200 250	Полуавтоматическая
100 200 315 400 630 800 1000 1250	350	500	100	50 100 160 200 315 400 500 625	Автоматическая

* При длительности цикла 10 мин.

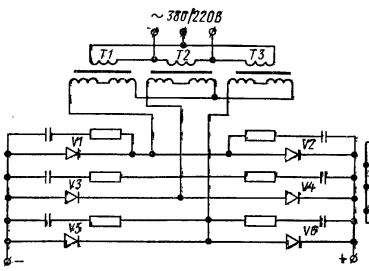


Рис. 6. Электрическая схема источника питания с использованием сварочных трансформаторов

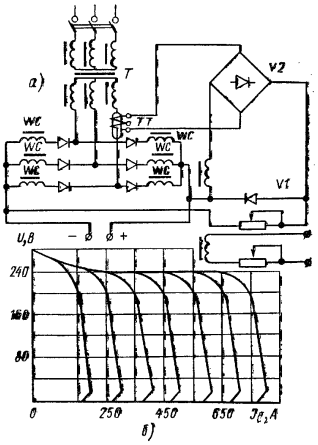


Рис. 7. Электрическая схема (*а*) и ВСХ (*б*) выпрямителя с *L* дросселем насыщения ИПР-120/600

Выпрямители ВПР-602 и ВПР-403 выполнены по принципиальной схеме без внутренней обратной связи. Особенностью такой схемы являются параметрическая стабилизация выпрямленного тока в диапазоне изменения напряжения дуги, что исключает необходимость введения внешних обратных связей. Однако для увеличения длины крутопадающего участка ВСХ вместе с обмоткой управления уложено несколько витков, включенных в силовую цепь и выполняющих роль отрицательной обратной связи по току. Данные выпрямители по сравнению с выпрямителем ИПР-120/600 отличаются более простой схемой и меньшей инерционностью. Однако они уступают ему по массе и по форме ВСХ.

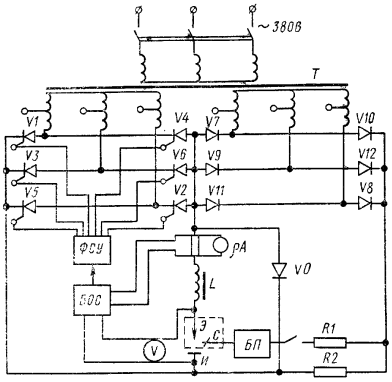


Рис. 8. Блок-схема тиристорного выпрямителя для плазменной резки

Во всех выпрямителях с L расчетная мощность последнего близка к расчетной мощности силового трансформатора. Поэтому источники тока этого вида отличаются большой массой и низким cos φ. Недостатком данных выпрямителей является также инерционность цепей управления. Указанные недостатки устранены в тиристорных выпрямителях для плазменно-дуговой резки металлов.

Тиристорный выпрямитель (рис. 8) с крутопадающими ВСХ представляет собой замкнутую систему авторегулирования с отрицательной обратной связью по току и положительной по напряжению. Такой выпрямитель обычно состоит из силового понижающего трансформатора T с жесткой ВСХ, основного выпрямительного моста, собранного на силовых тиристорах $V1$—$V6$, сглаживающего дросселя L с диодом V0, блоков управления фазосдвигающего устройства $ФСУ$ и блока обратных связей $БОС$, с помощью которых формируются крутопадающие ВСХ и стабилизируется рабочий ток. Тиристорные выпрямители обычно укомплектованы элементами управления процессом плазменной резки. Поэтому в их схемы включают дополнительный маломощный источник питания $V7$—$V12$ для дежурной дуги, блок поджигания $БП$ и другие так, что в комплексе такие устройства представляют собой полнокомплектные режущие аппараты, отличающиеся друг от друга по назначению, техническим характеристикам, а также по схемно-конструктивному решению. Отечественная промышленность выпускает тиристорные аппараты «Киев-2» и АПР-402-У4 для машинной плазменной резки, УПР-201УЗ для ручной резки, универсальный аппарат ОПР-6-3М для ручной и машинной резки.

Несмотря на преимущества тиристорных выпрямителей для плазменно-дуговой резки (компактность, незначительная масса, высокие КПД и cos φ), они имеют сложную электрическую схему и требуют высококвалифицированной настройки при изготовлении и эксплуатации. С этой точки зрения определенными преимуществами обладает выпрямитель на базе индуктивно-емкостного преобразователя, к которому относится источник питания аппарата «Киев-4» (ИЭС им. Е. О. Патона). Преобразователь такого типа (рис. 9) имеет три однофазных дросселя $L1$—$L3$ и три конденсаторные батареи $C1$—$C3$, настроенные в резонанс. В его силовую часть входит трехфазный трансформатор T с жесткой ВСХ и выпрямительный мост (диоды $V1$—$V6$). ВСХ такого источника (рис. 10) обеспечивают стабильный ток сравнительно низкое напряжение холостого хода, высокие КПД и

cos φ. Однако такие источники имеют большую массу по сравнению с тиристорными и для обеспечения динамической устойчивости дуги требуют дополнительной индуктивности в цепи выпрямленного тока.

В ряде случаев при отсутствии специальных выпрямителей для плазменно-дуговой резки можно применять стандартные сварочные источники тока: выпрямители, электромашинные преобразователи и в особых случаях передвижные сварочные агрегаты. При использовании сварочных источников следует руководствоваться следующим: 1) подбирать источники с падающими ВСХ; 2) учитывать, что все однопостовые сварочные источники при нагрузке их на номинальный ток

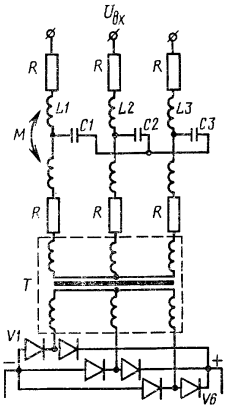
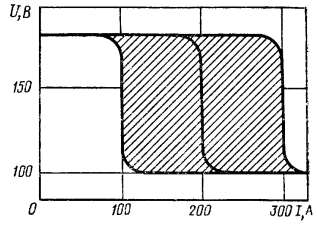


Рис. 9. Электрическая схема индуктивно-емкостного преобразователя для плазменной резки

Рис. 10. ВСХ индуктивно-емкостного преобразователя для плазменной резки



рассчитаны на продолжительность работы (ПР) не более 65%; 3) рабочее напряжение при резке превышает номинальное напряжение сварочных источников питания поэтому возникает необходимость в последовательном соединении двух или трех идентичных агрегатов; 4) для обеспечения нормальной работы плазменного резака должна быть смонтирована дополнительная система управления. При выборе источника питания предпочтение отдается сварочным выпрямителям, которые отличаются от генераторов бесшумностью, имеют более высокий КПД и cos φ и надежны в эксплуатации. В качестве источников тока для питания ручных плазмотронов можно использовать сварочные выпрямители ВКС-500, ВД-502, ВДУ-504 или сварочный преобразователь ПД-501 и др.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ВОЗДУШНО-ДУГОВОЙ РЕЗКИ

Комплект оборудования для воздушно-дуговой резки представлен на рис. 11. Ручной воздушно-дуговой резак представляет собой устройство для контактного закрепления электрода, снабженное каналами и сопловой системой для подачи струй сжатого воздуха в зону режущей дуги. В качестве электродов при воздушно-дуговой резке используют угольные, графитовые или графитированные цилиндрические стержни диаметром 6—20 мм или пластинчатые электроды сечением до 400 мм². Обычно применяют электроды длиной 250—350 мм. Для уменьшения окислительного износа боковые поверхности электрода покрывают тонким слоем меди или алюминиево-окисным покрытием.

Типоразмеры ручных воздушно-дуговых резаков установлены стандартом ГОСТ 10796—74 (табл. 14). Определяющим параметром резаков является номиналь-

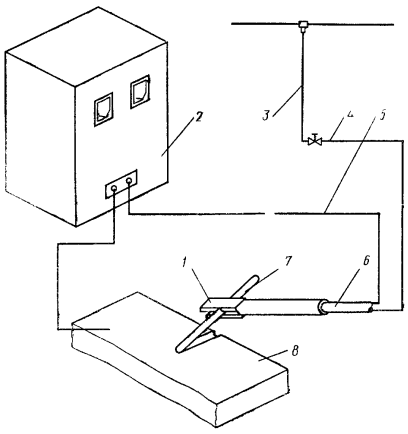


Рис. 11. Комплект оборудования для воздушно-дуговой резки:

1 — ручной воздушно-дуговой резак; *2* — источник тока; *3* — источник сжатого воздуха; *4* — соединительные шланги; *5* — соединительные провода; *6* — кабель-шланг; *7* — электрод; *8* — обрабатываемый металл

ный ток. С током связаны площадь сечения применяемых электродов, масса токоведущих частей, определяемая ею общая масса резака и соответственно его назначение и производительность. Легкие резаки, рассчитанные на небольшие токи и применение электродов малого диаметра, служат для монтажных работ: подрубки корня и удаления дефектных участков сварных швов, подрезки кромок и т. п. операций. Резаки для больших токов рассчитаны на применение пластинчатых и цилиндрических электродов большого сечения и служат главным образом для обработки отливок: удаления прибылей и литников, зачистки поверхностей и др. Резаки для средних токов являются универсальными. Их используют для выполнения всевозможных операций поверхностной и при необходимости разделительной резки.

Основные части воздушно-дугового резака: головка с контактным зажимным и сопловыми устройствами и рукоятка с узлом крепления токо- и воздухоподводящих коммуникаций. Контактно-зажимные устройства монтажных и универсальных резаков, как правило, имеют две сжимаемые пружинами контактные поверхности (колодки), между которыми закрепляют электрод. Это обеспечивает наибольшее быстродействие при смене электродов. Такие зажимы предусматривают возможность установки электрода под произвольным углом к рукоятке. Литейные резаки снабжают клиновыми или винтовыми контактно-зажимными устройствами, обеспечивающими надежный контакт, необходимый для передачи тока значительной величины.

Сопловые устройства современных воздушно-дуговых резаков, как правило, выполняют в виде цилиндрических каналов в контактных колодках (рис. 12). Такие сопла формируют наиболее целесообразные для резки воздушные струи, ориентированные под небольшим углом вдоль боковой поверхности электрода. Для удаления металла, расплавленного дугой, обычно достаточно двух параллельных струй, следующих за электродом в направлении резки. Поэтому сопловые устройства часто выполняют только в одной из контактных колодок. Положение такого резака соответственно ориентируют относительно направления резки.

Для подачи воздуха в резак применяют резинотканевые рукава, в воздушном канале которых прокладывают гибкий провод, подводящий рабочий ток. Источниками тока при воздушно-дуговой резке служат сильноточные сварочные генераторы или выпрямители постоянного тока, а при резке на переменном токе — трансформаторы с пологопадающей или жесткой вольт-амперной характеристикой. Сжатый воздух отбирают из заводской магистрали или от передвижного компрессора, обеспечивающего часовой расход 20—50 м³/ч при давлении на выходе 4—7 кгс/см². Присутствие влаги в воздухе не является вредным при воздушно-дуго-

14. Техническая характеристика ручных воздушно-дуговых резаков

Типоразмер по ГОСТ 10796—74	Назначение	Род тока	Номинальный ток, А	Масса выплавляемой за 1 ч стали, кг не менее	Масса резака, кг (без кабеля и шлангов)
РВДм—315	Монтажные работы	Постоянный	315	9,5	0,8
РВДу—500—1	Универсальный резак	»	500	15,0	1,1
РВДу—500—2	То же	Переменный	500	10,0	1,1
РВДу—800—1	»	Постоянный	800	22,5	1,3
РВДу—800—2	»	Переменный	800	14,0	1,3
РВДл—1000—1	Обработка отливок	Постоянный	1000	28,0	1,6
РВДл—1000—2	То же	Переменный	1000	16,8	1,6
РВДл—1600	»	»	1600	25,0	Не ограничена
РВДл—2000	»	»	2000	31,0	То же

Примечание. Давление на входе в резак 6,3 кгс/см².

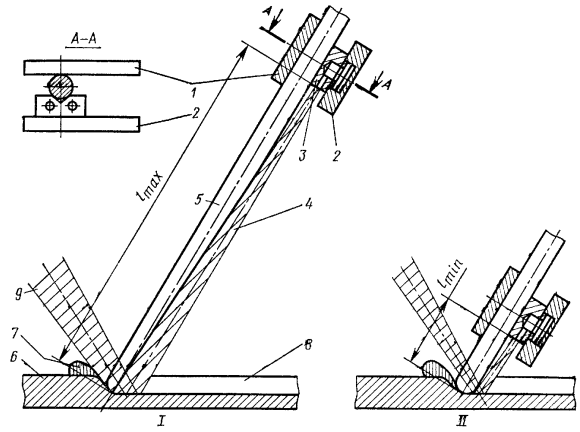


Рис. 12. Схема расположения электрода в резаке и ориентировка воздушных струй в начале (*I*) и конце (*II*) резки одним электродом:

1 — неподвижная контактная колодка; *2* — подвижная колодка; *3* — поворотная сопловая губка; *4* — воздушная струя; *5* — электрод; *6* — обрабатываемый металл; *7* — продукты резки; *8* — выстроганная канавка; *9* — направление выброса струи; l_{max} — максимальная и l_{min} — минимальная свободная длина (вылет) электрода

15. Техническая характеристика воздушно-дуговых резаков

Параметр	РДВ-315	РДВ-1	КДВ-1000
Тип по ГОСТ 10796—74	РВДм—315	РВДу—500—1	РВДл—1000—2
Номинальный ток, А	315	500	1000
Расход воздуха, м³/ч	20±3	20±3	От 40 до 50
Диаметр (сечение) электрода, мм	6—10	6—12	15×25
Производительность по низкоуглеродистой стали, кг/ч, до	9,5	16,5	16,8
Длина, мм:			
резака	310	285	—
кабель-шланга	5050	5000	—
Масса, кг:			
резака	0,8	0,9	—
кабель-шланга	3,0	3,0	—

Примечание. Давление воздуха 4—6 кгс/см²

вой резке, однако содержание масла нежелательно, поэтому сжатый воздух перед подачей в резак должен быть осушен с помощью промышленного масловодоотделителя.

Техническая характеристика отечественных воздушно-дуговых резаков приведена в табл. 15. Автоматические головки для воздушно-дуговой резки до настоящего времени еще не получили широкого распространения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Быховский Д. Г.** Плазменная резка. Л., Машиностроение, 1972. 168 с.
2. **Васильев К. В.** Плазменно-дуговая резка. М., Машиностроение, 1974. 111 с.
3. **Каталог** сварочного оборудования, серийно выпускаемого в странах — членах СЭВ «Международный центр научной и технической информации». М., 1977. 177 с.
4. **Машины,** установки и аппаратура для газопламенной обработки металлов. Каталог. М., ЦИНТИхимнефтемаш. 1977. 112 с.
5. **Спектор О. Ш.** Кислородно-флюсовая резка нержавеющих сталей. М., Машиностроение. 1969. 168 с.
6. **Сухинин Г. К., Трофимов А. А.** Машинная кислородная резка. Библиотека газосварщика. М., Машиностроение. 1974. 80 с.
7. **Эсибян Э. М.** Плазменно-дуговая аппаратура. Киев, Техника. 1971. 164 с.

Глава 10

ОБРАЗОВАНИЕ СОЕДИНЕНИЙ И СПОСОБЫ ПАЙКИ

Образование непрерывной межатомной связи между соединяемыми деталями при пайке достигается без расплавления их кромок путем смачивания твердых поверхностей более легкоплавким расплавленным жидким металлом (припоем). Поэтому смачивание следует считать основным процессом в образовании соединений при пайке [3]. Смачивание жидкими металлами твердой поверхности сопровождается установлением прочных химических связей между атомами жидкости и твердого тела и считается химическим или необратимым смачиванием [2].

Для химического смачивания характерно наличие порога смачивания, определяющегося температурой, при которой краевой угол начинает резко уменьшаться, а работа адгезии возрастать (рис. 1).

Для оценки смачивания поверхности жидкостью рассматривается равновесие капли, нанесенной на твердую поверхность. Равновесие ее определяется соотношением сил поверхностного натяжения. По мнению В. К. Семенченко, поверхностное натяжение можно рассматривать не только как энергию единицы поверхности, но и как силу, действующую на единицу длины. На рис. 2 через $\sigma_{ж-т}$ обозначено поверхностное натяжение на границе жидкость—твердое тело, через $\sigma_{ж-г}$ — поверхностное натяжение жидкость — газообразная фаза и через $\sigma_{т-г}$ — поверхностное натяжение твердое тело — газообразная фаза; θ — краевой угол смачивания. Для равновесия сил, действующих в плоскости, нормальной к поверхности твердого тела, справедливо равенство

$$\sigma_{т-г} = \sigma_{ж-г} + \sigma_{ж-г} \cos\theta. \quad (1)$$

Работа отделения жидкой капли от поверхности твердого тела может быть рассчитана. Если в начале процесса имеется поверхность соприкосновения $\sigma_{ж-т}$ и поверхностное натяжение на этой границе $\sigma_{ж-т}$, то в конце процесса после отделения капли от поверхности образуются две поверхности: твердое тело — газообразная фаза и жидкость — газообразная фаза с поверхностным натяжением $\sigma_{т-г}$ и $\sigma_{ж-г}$ соответственно.

Если площадь каждой из вновь образованных поверхностей равна единице, то работа отделения жидкой капли от поверхности твердого тела, называемая удельной работой адгезии,

$$A_{адг} = \sigma_{ж-г} + \sigma_{т-г} - \sigma_{ж-т}. \quad (2)$$

С учетом (1) получим

$$A_{адг} = \sigma_{ж-г}(1 + \cos\theta). \quad (3)$$

Степень смачивания можно охарактеризовать углом θ; тогда рассмотрим два крайних случая: 1) полного несмачивания ($\theta = 180°$); 2) полного смачивания ($\theta = 0$). При полном несмачивании ($\theta = 180°$, $\cos\theta = -1$) $A_{адг} = 0$. При полном смачивании ($\theta = 0$, $\cos\theta = 1$) $A_{адг} = 2\sigma_{ж-г}$. Величина $2\sigma_{ж-г}$ представляет собой работу, которую нужно затратить для того, чтобы разорвать столб жидкости сечением, равным единице, и образовать две новые поверхности с поверхностным натяжением $\sigma_{ж-г}$. Эта работа, определяемая силами сцепления внутри жидкости, называется удельной работой когезии $A_{ког}$. В момент наступления полного смачивания жидкостью твердой поверхности работа адгезии оказывается равной работе когезии.

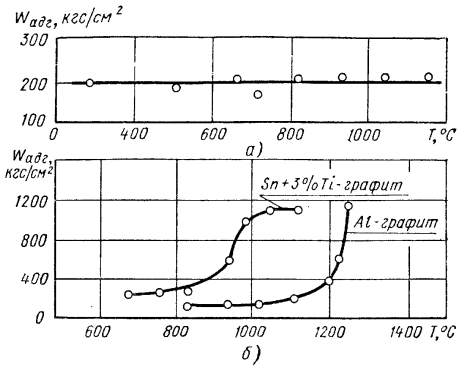


Рис. 1. Зависимость работы адгезии $W_{адг}$ от температуры для физического (*а*) и химического (*б*) смачивания

Для практического осуществления процесса пайки и лужения необходимо обеспечить затекание припоя в зазоры соединяемых деталей или растекание припоя по поверхности.

Под растеканием, при анализе поверхностных явлений, понимают вязкое течение слоя жидкости, связанное не с действием силы тяжести, а с уменьшением свободной поверхностной энергии системы. При рассмотрении процессов растекания предполагается, что смачивание определяет процесс растекания и, таким образом, является необходимым условием обеспечения этого процесса.

Самопроизвольное растекание жидкости по открытой поверхности возможно при достижении полного смачивания в случае, если выполняется условие

$$\sigma_{т\text{-}г} \geqslant \sigma_{ж\text{-}т} + \sigma_{ж\text{-}г}. \qquad (4)$$

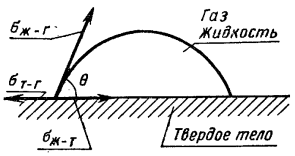


Рис. 2. Схема действия сил поверхностного натяжения при смачивании жидкостью твердого тела

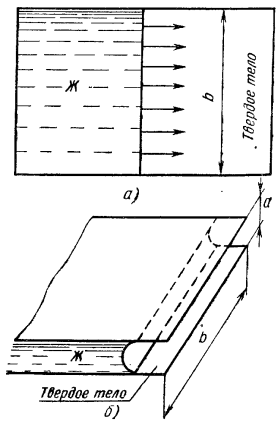


Рис. 3. Схемы течения жидкости:
а — по открытой поверхности (плоский фронт растекания); *б* — по плоскому капилляру

Учитывая это неравенство и выражение (2), получим

$$A_{адг} \geqslant 2\sigma_{ж\text{-}г} \text{ или } A_{адг} > A_{ког}.$$

Для характеристики систем с полным смачиванием используют коэффициент растекания, характеризующий степень неравенства (4):

$$K_{раст} = \sigma_{т\text{-}г} - (\sigma_{ж\text{-}т} + \sigma_{ж\text{-}г}). \qquad (5)$$

Коэффициент растекания — энергетическая характеристика эффекта растекания или перемещения фронта жидкости по твердой поверхности с поверхностным натяжением $\sigma_{т\text{-}г}$ [1].

Коэффициент $K_{раст}$ в расчетах кинетики растекания систем рассматривается как источник движущей силы растекания F. При течении по открытой поверхности при плоском фронте растекания (рис. 3, *а*) $F_{раст.\,пл} = K_{раст}\, b$, где b — ширина фронта растекания.

При течении жидкости в плоском капилляре (рис. 3, *б*) растекание осуществляется по двум поверхностям, а наружная поверхность жидкости не изменяется:

$$F_{раст.\,кап} = 2\,(\sigma_{т\text{-}г} + \sigma_{ж\text{-}т})\, b. \qquad (6)$$

При течении жидкости по открытой плоской поверхности условие растекания определяется выражением (4) или

$$\sigma_{т\text{-}г} - (\sigma_{ж\text{-}т} + \sigma_{ж\text{-}г}) \geqslant 0. \qquad (7)$$

Учитывая, что $\cos\theta = \dfrac{(\sigma_{т\text{-}г} - \sigma_{ж\text{-}т})}{\sigma_{ж\text{-}г}}$, условие растекания может быть выполнено при $\theta = 0$ и $\cos\theta = 1$.

При течении жидкости в плоском капилляре условие растекания определяется выражением $2\,(\sigma_{т\text{-}г} - \sigma_{ж\text{-}т}) \geqslant 0$ и может быть выполнено при $\cos\theta \geqslant 0$ или при угле $\theta < 90°$. Поэтому для затекания жидкости в капилляры и течения ее в капиллярах не обязательно достижение полного смачивания. При наличии диффузионного взаимодействия между жидкостью и твердой поверхностью величина $K_{раст}$ в процессе контакта не будет оставаться постоянной.

Формирование паяного соединения происходит под влиянием большого числа различных факторов. Взаимосвязь этих факторов схематично показана на рис. 4. При разработке этой схемы принято, что смачивание является необходимым условием образования паяного соединения.

Однако конечные свойства паяного соединения рассматриваются в зависимости от процессов, сопутствующих смачиванию, таких, как: взаимодействие припоя с основным металлом, изменение свойств основного металла под действием термического цикла пайки, особенности кристаллизации припоя и др.

Изменяя технологические параметры процесса пайки (состав и свойства припоя, термический цикл, средства активации поверхности, величину зазора, конструкцию паяного соединения), можно влиять на условия протекания процессов, участвующих в формировании паяных соединений, и их конечные свойства. В конкретных случаях пайки получение соединений с заданными свойствами может лимитироваться любым из процессов, участвующих в формировании паяного соединения. Например, при плохом смачивании поверхности припоем этот процесс становится лимитирующим. Факторами, определяющими протекание процесса смачивания являются состав и свойства основного металла и припоя, температура и время выдержки при пайке, а также средства активации поверхности. Если при заданном термическом цикле и принятых средствах активации не удается обеспечить хорошее смачивание припоем паяемого металла, то улучшение смачивания может быть достигнуто нанесением на поверхность металла слоев других металлов, что равноценно изменению состояния поверхности паяемого металла.

При пайке активных металлов смачивание, как правило, обеспечивается легко, однако свойства паяных соединений часто бывают низкими вследствие образова-

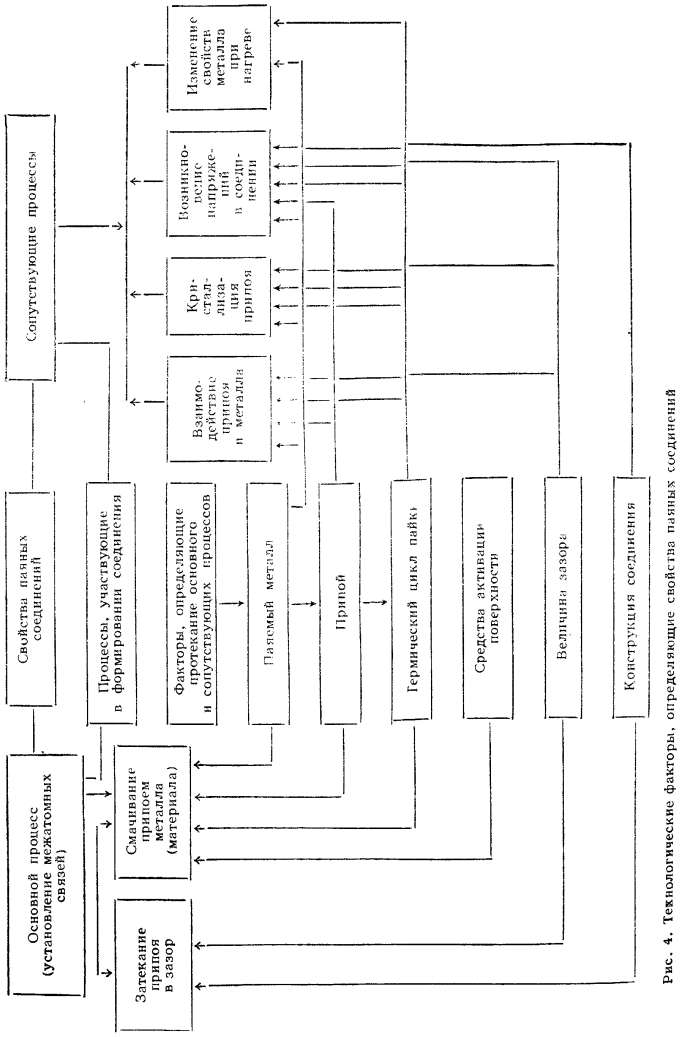


Рис. 4. Технологические факторы, определяющие свойства паяных соединений

ния на границе припой—паяемый металл хрупких прослоек интерметаллических соединений. В этом случае процессом, лимитирующим образование соединений с требуемыми свойствами, становится процесс взаимодействия припоя и паяемого металла. Факторами, влияющими на этот процесс, являются: состав и свойства паяемого металла и припоя, температура и время выдержки при пайке, а также величина зазора. В процессе кристаллизации припоя возможно появление дефектов, снижающих свойства получаемых соединений, и этот процесс может стать в некоторых случаях лимитирующим.

Состав припоя может меняться в результате взаимодействия с основным металлом. В связи с этим температура пайки, величина зазора и условия охлаждения влияют на кристаллизацию припоя как факторы самостоятельные и как факторы, определяющие степень взаимодействия припоя и металла. Изменение свойств паяемого металла возможно в результате термического цикла пайки и в результате взаимодействия припоя и металла. Поэтому технологическими факторами, определяющими изменение свойств основного металла, кроме термического цикла пайки могут быть все факторы, определяющие взаимодействие припоя и основного металла.

При пайке металла с керамикой, стеклом, когда имеется значительная разница в коэффициентах линейного теплового расширения и один из материалов или оба имеют низкие пластические свойства, получение работоспособных соединений может быть затруднено из-за возникновения напряжений и разрушения спая в процессе охлаждения.

Основными технологическими факторами, определяющими формирование напряжений, являются: состав и свойства паяемых материалов и припоя, термический цикл пайки, конструкция паяных соединений и процессы, влияющие на взаимодействие припоя и металла.

На основании общих подходов к выбору технологических параметров пайки выбирают способы пайки, наиболее приемлемые для получения соединений с заданными свойствами.

Согласно ГОСТ 17349—71 существующие способы пайки классифицируются по различным признакам. По условиям заполнения зазора все способы пайки разделены на способы капиллярной и некапиллярной пайки. При капиллярной пайке заполнение припоем зазора и удержание его в зазорах обеспечивается силами капиллярности; при некапиллярной пайке заполнение зазора осуществляется под действием силы тяжести или внешнего давления без заметного участия капиллярных сил.

К некапиллярным способам пайки (применяющимся относительно редко) отнесены пайкосварка, при которой припой заполняет разделку кромок, как при сварке плавлением, и сваркопайка — способ соединения разнородных металлов с различной температурой плавления, при котором расплавляется более легкоплавкий металл, являющийся припоем.

По механизму образования паяного шва выделены несколько способов капиллярной пайки.

Пайка готовым припоем.

Контактно-реактивная пайка, при которой роль припоя выполняет жидкая фаза, образующаяся в результате контактного плавления соединяемых материалов, покрытий, нанесенных на соединяемые материалы, или промежуточных прокладок, вводимых в соединение.

Пайка реактивно-флюсовая, при которой припой или слой полуды образуются в результате высаживания из флюса.

Металлокерамическая пайка композиционными припоями, при которой в зазор вносится порошковый наполнитель, по составу близкий к составу паяемого металла, образующий сеть разветвленных капилляров, и собственно припой, заполняющий эти капилляры под действием сил капиллярного течения. Важной особенностью этого процесса является возможность пайки изделий с большими зазорами, когда капиллярное заполнение их затруднено.

Диффузионная пайка, рассчитанная на развитие диффузионных процессов

между припоем и паяемым металлом, при которой затвердевание паяного шва происходит при температуре выше температуры солидуса припоя.

По способу удаления окисной пленки выделена абразивная — бесфлюсовая пайка, при которой производится предварительное лужение с использованием абразивов для разрушения и удаления окисной пленки.

Близкими к этому процессу являются шаберная пайка и абразивно-кристаллическая. Ультразвуковая и кавитационно-абразивная пайка также относятся к способам бесфлюсовой пайки с предварительным лужением с помощью ультразвуковых колебаний.

Флюсовая пайка, при которой разрушение окисной пленки происходит с помощью флюса.

Способы пайки в нейтральной газовой среде и в вакууме также относятся к способам бесфлюсовой пайки, при которых осуществляется защита металла от окисления и разрушение окисной пленки в безокислительной среде при нагреве.

Пайку в активных газовых средах можно рассматривать как процесс применения газовых флюсов, обеспечивающих разрушение и удаление окисной пленки в результате химических реакций.

По источникам нагрева существующие способы пайки разделяют на пайку паяльником; газопламенную; электродуговую; электросопротивлением; экзотермическую, использующую тепло, образующееся при экзотермических реакциях специальных смесей; электронным лучом (чаще всего сканирующим); лазером; в печах, погружением в расплавленные соли или припои; волной припоя; в нагретых штампах, нагревательных матах и т. д. Развивающимся процессом является пайка сфокусированным лучом света с помощью кварцевых ламп и ксеноновых ламп высокого давления и другие.

Отличительной чертой паяного соединения является наличие в нем прослойки припоя или прослойки металла, образовавшегося в результате взаимодействия припоя и основного металла. Наличие такой химической неоднородности является недостатком паяных соединений и в ряде случаев снижает эффективность процесса пайки. Для устранения этого недостатка и повышения коррозионных и прочностных свойств соединений в результате устранения имеющейся химической неоднородности могут быть применены некоторые особые технологические приемы. Перспективным процессом получения высокопрочных соединений, лишенных химической неоднородности, является процесс пайки, сочетающийся с приложением давления в момент расплавления припоя, его выдавливания из зазора и в дальнейшем растворения его остатков при высокой температуре.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Зимон А. Д.** Адгезия жидкости и смачивание. М., Химия, 1974. 412 с.
2. **Найдич Ю. В., Колесниченко Г. А.** Взаимодействие металлических расплавов с поверхностью алмаза и графита. Киев, Наукова думка, 1967. 89 с.
3. **О механизме** образования соединений при сварке и пайке/Г. Д. Никифоров и др. — Сварочное производство, 1967, № 12, с. 8—10.

Глава 11

МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПАЙКИ

ПРИПОИ

Классификация припоев установлена ГОСТ 19248—73. По температуре расплавления припои подразделяются на особолегкоплавкие (≤145° С), легкоплавкие (>145 ≤ 450° С), среднеплавкие (>450 ≤ 1100° С), высокоплавкие (>1100 ≤ ≤ 1850° С) и тугоплавкие (>1850° С). На практике широко используют также традиционное разделение припоев на две группы: низкотемпературные (до 450° С) и высокотемпературные (свыше 450° С).

Установлено также разделение припоев на готовые, используемые в виде заранее приготовленного в той или иной форме и в соответствии с химическим составом материала, и образующиеся при пайке (контактно-реактивные и реактивно-флюсовые). В данной главе рассмотрены только готовые припои.

Название припой получает по основному компоненту (основным компонентам), а при наличии в его составе драгоценных или редких металлов — по этим металлам независимо от их количества — серебряные, золотые и т. д.

В настоящее время действуют следующие основные государственные стандарты на припои: ГОСТ 21930—76 «Припои оловянно-свинцовые в чушках»; ГОСТ 21931—76 «Припои оловянно-свинцовые в изделиях», ГОСТ 19738—74 «Припои серебряные», ГОСТ 16130—72 «Проволока и прутки из меди и сплавов на медной основе сварочные». ГОСТ 23137—78 «Припои медно—цинковые».

Кроме того, в качестве припоев используют металлы и сплавы, стандартизованные как конструкционные материалы, лигатуры и др.

Оловянно-свинцовые припои (табл. 1). Стандартом предусмотрены три группы оловянно-свинцовых припоев: бессурьмянистые, в которых сурьма содержится как примесь в количестве не более 0,05% (ПОС 90, ПОС 61 и ПОС 40) и не более 0,2% (ПОС 61М и ПОСК 50—18). Первые три припоя изготовляют также с пониженным содержанием сурьмы (до 0,02%).

Бессурьмянистые припои как наиболее дорогие следует применять только в тех случаях, когда недопустимо повышенное содержание сурьмы: пайка пищевой и медицинской аппаратуры (ПОС 90); пайка, в том числе механизированная, электро- и радиоаппаратуры, герметичных соединений в точных приборах (ПОС 61); пайка электроаппаратуры, герметичные соединения оцинкованного железа (ПОС 40); лужение и пайка контактных поверхностей электроаппаратуры, приборов (ПОС 10).

Припой ПОС 61М, содержащий медь, применяют в случаях, когда необходимо предотвратить растворение паяемого металла при лужении и пайке изделий с тонкими медными покрытиями и проводов или замедлить разрушение наконечника паяльника.

Припой ПОСК 50—18 по составу соответствует составу тройной эвтектики олово—свинец—кадмий и предназначен для пайки деталей, чувствительных к нагреву (печатные схемы, металлизированная керамика и т. п.).

Малосурьмянистые припои нашли наиболее широкое применение для лужения и пайки изделий различного назначения: электроаппаратуры, обмоток электрических машин, оцинкованных радиодеталей при недопустимости перегрева — ПОССу 61—0,5, в остальных случаях ПОССу 40—0,5 и ПОССу 35—0,5; различных теплообменников из меди и латуни — ПОССу 50—0,5, ПОССу 30—0,5, ПОССу 25—0,5 и ПОССу 18—0,5. Припои этой группы применяют также для лужения и

1. Стандартные оловянно-свинцовые припои (ГОСТ 21930—76)

Марка припоя	Химический состав, % (свинец — остальное)		Температура плавления, °С		Плотность, г/см³
	Олово	Другие компоненты	Солидус	Ликвидус	
Бессурьмянистые					
ПОС 90	89—91	—	183	220	7,6
ПОС 61	59—61	—	183	190	8,5
ПОС 61М	59—61	1,2—2,0 Cu	183	192	8,5
ПОС 40	39—41	—	183	238	9,3
ПОС 10	9—10	—	268	299	10,8
ПОСК 50—18	49—51	17—19 Cd	142	145	8,8
Малосурьмянистые					
ПОССу 61—0,5	59—61	0,05—0,5 Sb	183	189	8,5
ПОССу 50—0,5	49—51	0,05—0,5 Sb	183	216	8,9
ПОССу 40—0,5	39—41	0,05—0,5 Sb	183	235	9,3
ПОССу 35—0,5	34—36	0,05—0,5 Sb	183	245	9,5
ПОССу 30—0,5	29—31	0,05—0,5 Sb	183	255	9,7
ПОССу 25—0,5	24—26	0,05—0,5 Sb	183	266	10,0
ПОССу 18—0,5	17—18	0,05—0,5 Sb	183	277	10,2
Сурьмянистые					
ПОССу 95—5	94—96	4,0—5,0 Sb	234	240	7,3
ПОССу 40—2	39—41	1,5—2,0 Sb	185	229	9,2
ПОССу 35—2	34—36	1,5—2,0 Sb	185	243	9,4
ПОССу 30—2	29—31	1,5—2,0 Sb	185	250	9,6
ПОССу 25—2	24—26	1,5—2,0 Sb	185	260	9,8
ПОССу 18—2	17—18	1,5—2,0 Sb	186	270	10,1
ПОССу 15—2	14—15	1,5—2,0 Sb	184	275	10,3
ПОССу 10—2	9—10	1,5—2,0 Sb	268	285	10,7
ПОССу 8—3	7—8	2,0—3,0 Sb	240	290	10,5
ПОССу 5—1	4—5	0,5—1,0 Sb	275	308	11,2
ПОССу 4—6	3—4	5,0—6,0 Sb	244	270	10,7

пайки белой жести и оцинкованных деталей (ПОССу 40—0,5), листового цинка (ПОССу 30—0,5), в электроламповом производстве (ПОССу 18—0,5) и в других случаях.

Сурьмянистым припоем наиболее широкого назначения является припой ПОССу 40—2. Для различных неответственных случаев пайки белой жести, латуни и меди рекомендуется припой ПОССу 4—6. Припой ПОССу 95—5 предназначен для соединений, работающих при повышенной температуре (до 120° С) (электротехническая промышленность, трубопроводы для горячей воды).

Другие сурьмянистые припои находят применение при пайке холодильной аппаратуры, в автомобильной промышленности, для абразивной пайки свинца (ПОССу 35—2) и т. д.

Используя оловянно-свинцовые припои, следует иметь в виду, что по ранее действовавшему ГОСТ 1499—54 припои маркировались только буквами ПОС, а по содержанию сурьмы при этом соответствовали в основном сурьмянистым припоям по новому стандарту. Это нужно учитывать при использовании старой технической документации, не допуская неоправданного использования бессурьмянистых припоев, тем более что по некоторым свойствам (работоспособности при повышенных и отрицательных температурах и др.) они уступают сурьмянистым. Предел прочности большинства оловянно-свинцовых припоев находится в пределах 3,5—4,5 кгс/мм². Наиболее низкую прочность (3,2 кгс/мм²) имеет припой ПОС 10, наиболее высокую (6,5 кгс/мм²) — ПОССу 4—6. Относительное удлинение большинства припоев 35—45% (припоев ПОССу 50—0,5 — 62%, ПОССу 4—6 — 15%).

2. Висмутовые и индиевые припои

Химический состав, %				Температура плавления (ликвидус), °С	Применение
Bi	In	Pb	Sn		
52	—	32	16	94	Лужение печатных плат (сплав Розе)
—	52	—	48	117	Пайка электровакуумных изделий
58	—	—	42	138	Ремонт печатных плат, герметизация корпусов
—	50	50	—	216	Пайка на тонкопленочных покрытиях
—	20	80	—	275	Получение ненапряженных спаев стекла с металлом
13	—	70	17 Cd	225	Волноводы и другие изделия из меди и ее сплавов с последующим меднением и серебрением

Предел прочности нахлесточных соединений различных материалов при комнатной температуре (припой ПОССу 30—0,5) следующий: медь — 3,1 кгс/мм²; латунь Л63 — 3,2 кгс/мм²; сталь 20 — 3,3 кгс/мм²; сталь 12Х18Н10Т — 2,2 кгс/мм² [2].

Кроме рассмотренных выше стандартных оловянно-свинцовых припоев применяют также нестандартизованные особолегкоплавкие припои на основе висмута, а также припои свинец—кадмий—висмут, индий—свинец и индий—олово. Некоторые такие припои приведены в табл. 2. Индиевые припои используют также в криогенной технике.

Серебряные припои. Температура плавления легкоплавких серебряных припоев (табл. 3) колеблется в пределах 183—342° С, а содержание серебра не превышает 10% (для большинства марок не более 3%).

3. Легкоплавкие серебряные припои

Марка припоя	Химический состав, % (основные компоненты)					Температура плавления, °С		Плотность, г/см	Удельное электросопротивление, мкОм·см
	Серебро	Олово	Свинец	Сурьма	Другие компоненты	Солидус	Ликвидус		
ПСрО 3—97	3,0	Остальное	—	—	—	221	225	7,4	12,5
ПСрО 10—90	10,0	То же	—	—	—	221	280	7,6	12,9
ПСр 2,5С	2,5	—	Остальное	—	—	304	306	11,3	20,7
ПСр 3	3,0	—	То же	—	—	304	315	11,4	20,4
ПСрОС 3,5—95	3,5	Остальное	1,0	—	—	220	224	7,4	12,3
ПСрОСу 8 (ВПр-6)	8,0	То же	—	7,5	—	235	250	7,4	19,7
ПСрМО 5 (ВПр-9)	5,0	»	—	1,0	2 Cu	215	240	7,4	15,3
ПСр 1	1,0	35,0	Остальное	0,9	2,5 Cd	225	235	9,4	26,0
ПСрОС 2—58	2,0	58,8	То же	0,5	—	183	183	8,5	14,1
ПСрОС 3—58	3,0	57,8	»	0,5	—	180	190	8,6	14,5
ПСр 2,5	2,5	5,5	»	—	—	295	300	11,0	21,4
ПСр 1,5	1,5	15,0	»	—	—	273	280	10,4	19,1
ПСр 2	2,0	30,0	»	—	5,0 Cd	235	238	9,5	16,7
ПСр 3Кд	3,0	—	—	—	96,0 Cd 1,0 Zn	314	342	8,7	8,0

Припои серебро—олово (ПСрО 3—97, ПСрО 10—90) не содержат легкоиспаряющихся компонентов; их можно использовать в электровакуумной технике и для пайки электротехнических соединений, работающих при повышенной температуре. В других случаях, требующих повышенной прочности и коррозионной стойкости, по сравнению с оловянно-свинцовыми припоями, можно применять также припой ПСрОС 3,5—95.

Припой ПСр 1 предназначен для пайки серебряных деталей. Припои ПСрОСу 8 и ПСрМО 5 как обладающие высокой коррозионной стойкостью рекомендуются для пайки проводов и других электротехнических соединений, работающих в условиях высокой влажности и повышенной температуры. Соединения не требуют защиты лакокрасочными покрытиями. Первый в этих условиях заменяет припои ПСр 2,5 и ПСр 3, второй — припои ПОС 61 и ПОС 40 [3].

Припои ПСрОС 2—58 и ПСрОС 3—58 представляют собой припой ПОССу 61—0,5, легированный серебром, и отличаются от него большей коррозионной стойкостью. Остальные легкоплавкие серебряные припои используют главным образом для пайки проводов и других электротехнических соединений из меди и латуни, работающих при повышенных температурах; они различаются температурой пайки, допустимой температурой нагрева соединений в процессе эксплуатации, коррозионной стойкостью соединений.

Для соединений с припоями ПСр 3, ПСр 2,5 допустимая температура нагрева 150—200° С, прочность соединений на меди 2,9—3,8 кгс/мм² с припоем ПСр 3Кд — 250° С и 3—5,5 кгс/мм² соответственно.

4. Стандартные серебряные припои

Марка припоя	Средний химический состав, % (основные компоненты)				Температура плавления, °С		Плотность, г/см³	Удельное электросопротивление, мкОм·см
	Серебро	Медь	Цинк	Другие компоненты	Солидус	Ликвидус		
ПСр 72	72	Остальное	—	—	779	779	10,0	2,1
ПСр 50	50	То же	—	—	779	860	9,3	2,5
ПСр 70	70	25,5—26,6	Остальное	—	715	770	9,8	4,1
ПСр 65	65	20	То же	—	695	722	9,45	8,6
ПСр 45	45	30	»	—	665	730	9,1	10,0
ПСр 25	25	40	»	—	740	775	8,7	7,7
ПСр 12М	12	52	»	—	793	830	8,3	7,4
ПСр 10	10	53	»	—	822	850	8,4	7,1
ПСрКдМ 50—34—16	50,0	Остальное	—	34,0 Cd	630	685	9,6	5,8
ПСр 71	71,0	То же	—	1,0 P	645	795	9,8	4,3
ПСр 25Ф	25,0	»	—	5,0 P	645	725	8,3	18,6
ПСр 15	15,0	»	—	4,8 P	640	810	8,5	20,7
ПСр 62	62,0	26,0	—	Остальное Sn	650	723	9,6	25,5
ПСрМО 68—27—5	68,0	Остальное	—	5 Sn	655	765	9,9	14,0
ПСр 40	40,0	16,7	17,0	0,3 Ni Остальное	590	610	9,25	7,0
ПСрМЦКд 45—15—16—24	45,0	Остальное	16,0	24,0 Cd	615	615	9,4	6,5
ПСр50Кд	50,0	16,0	16,0	Остальное	625	640	9,25	7,8
ПСр 37,5	37,5	Остальное	5,5	8,2 Mn	725	810	8,9	37,2

Кроме стандартизованных легкоплавких серебряных припоев в некоторых случаях приходится применять специальные припои, например припой ВПр-18, хорошо смачивающий никелированные провода и допускающий нагрев соединений до 270° С.

Остальные серебряные припои по ГОСТ 19738—74 приведены в табл. 4. Эти припои можно классифицировать следующим образом: двухкомпонентные — серебро—медь, трехкомпонентные — серебро—медь—цинк, серебро—медь—кадмий, серебро—медь—фосфор, серебро—медь—олово и четырехкомпонентные — серебро—медь—цинк—кадмий, серебро—медь—цинк—марганец.

Двухкомпонентные припои серебро—медь характеризуются отсутствием легкоиспаряющихся компонентов, а припой ПСр 72, кроме того, эвтектическим составом, что обусловило широкое распространение его в электровакуумной технике для пайки ответственных вакуумноплотных соединений различных материалов. Легирование оловом при соответствующем уменьшении содержания серебра позволяет снизить температуру плавления припоя, сохранив достаточно низкую упругость пара (припои ПСр 62 и ПСрМО 68—27—5).

Особенностью трехкомпонентных припоев серебро—медь—фосфор является возможность пайки меди и некоторых медных сплавов без флюса благодаря флюсующему действию фосфора. Для пайки стали эти припои не рекомендуются из-за образования в шве хрупкого фосфида железа.

Наиболее распространенными припоями общего назначения являются припои серебро—медь—цинк и особенно ПСр 45, ПСр 25, ПСр 12М и ПСр 10. Прочность и пластичность припоев снижаются с уменьшением содержания в этих припоях серебра. Предел прочности припоя ПСр 45—30,0 кгс/мм², припоя ПСр 12м — 18,5. Такую же в среднем прочность имеют и паяные соединения.

Четырехкомпонентные припои серебро—медь—цинк—кадмий имеют пониженную температуру плавления, что обусловило их область применения — их используют для пайки термически обработанных конструкционных сталей, разно-

5. Нестандартизованные серебряные припои различного назначения

Марка припоя	Химический состав, %			Температура плавления, °С		Технические условия, назначение
	Серебро	Медь	Другие компоненты	Солидус	Ликвидус	
ПСр 29,5	30	27,5	30 Zn, 12 Cd, 0,3—0,5 B	—	660	ТУ 48-07-261—70 «Пайка трубопроводов холодильных агрегатов с флюсом № 209»
ПСрМцМН 23 (ВПр13)	21—25	Остальное	20—23 Mn, 10—13 Ni, 0,5—2,0 Zn, 0,2—0,4 Si, 0,1—0,3 B, 0,1—0,3 P	850	910	ТУ 48-1-354—75 «Пайка тонколистовых конструкций из коррозионно-стойких сталей в атмосфере аргона»
ПСрМОФ 15	15±0,5	То же	4,5±0,5 P, 4,5±0,5 Sn, 0,002—0,05 Zr	610	680	ТУ 48-07-1432—76 «Пайка латуни» (вместо припоя ПСр40)
ПСр 5,5 (ПМ17А)	5—6	»	15—17 Mn, 10—11 Ni, 0,4—0,8 Si, до 0,30 B	870	940	ТУ 48-1-372—78 «Пайка меди и стали в вакууме и атмосфере аргона

6. Стандартные медные сплавы — припои

Марка	Химический состав, % (цинк — остальное)		Температура плавления, °С	
	Медь	Другие компоненты	Солидус	Ликвидус
М1р	99,9	—	1083	1083
Л63	62,0—65,0	—	900	910
ЛМц58—2	57,0—60,0	1—2 Mn		
ЛЖМц 59—1—1	57,0—60,0	0,6—1,2 Fe, 0,5—0,8 Mn	885	900
ЛОК59—1—0,3	58,0—60,0	0,2—0,4 Si, 0,7—1,1 Sn	—	890
ЛК62—0,5	60,5—63,5	0,3—0,7 Si	—	905
ЛКБО62—0,2—0,04—0,5	60,5—63,5	0,2 Si, 0,5 Sn	—	905

родных материалов, медных сплавов (бронз). Припой ПСр 37,5 применяют для пайки ответственных нагруженных изделий из меди и сталей. Некоторые наиболее распространенные или перспективные нестандартизованные припои приведены в табл. 5.

Медные припои приведены в табл. 6—11. В качестве припоев используют медь и различные марки латуни, включенные в ГОСТ 16130—72 (см. табл. 6). Латуни Л63 и ЛК62—05 широко применяют для пайки углеродистых конструкционных сталей и других материалов. Остальные латуни пригодны также для пайки меди и некоторых медных сплавов, имеющих соответствующую температуру плавления. Введение в латунь олова улучшает растекаемость припоев и их коррозионную стойкость, а введение кремния снижает пористость швов.

Типичное применение меди — пайка стали в атмосфере водорода. В электровакуумной технике используют бескислородную медь МОб (ГОСТ 15471—77), дающую более качественные соединения. Припои медно-цинковые по ГОСТ 23137—78 приведены в табл. 7.

Нестандартизованные медные припои различных назначений приведены в табл. 8 Особенностью медно-германиевых припоев является отсутствие легко-

7. Припои медно-цинковые по ГОСТ 23137—78

Марка	Химический состав, %		Температура плавления, °С		Механические свойства			Примерное назначение
	Медь	Цинк	Солидус	Ликвидус	$\sigma_в$, кгс/мм²	δ, %	*НВ*, кгс/мм²	
ПМЦ36	34—38	Остальное	800	825	Хрупкий			Для пайки латуни, содержащей до 68% меди
ПМЦ48	46—50	То же	850	865	21	3	130	Для пайки медных сплавов, содержащих свыше 68% меди
ПМЦ54	52—56	»	876	880	35	21	128	Для пайки меди, томпака и стали

8. Нестандартизованные медные припои

Марка припоя	Химический состав, %						Температура плавления, °С		Технические условия, назначение
	Медь	Цинк	Никель	Марганец	Олово	Другие компоненты	Солидус	Ликвидус	
ПМ80Ми10	Остальное	5—5,5	0,2—0,5	10—11	5—5,5	0,2—0,5 Si, 0,05—0,2 B	—	1000	ТУ 48-21-227—72 «Пайка сталей»
ПМНМц68—4—2	62—68	Остальное	4—5	1,5—2,5	—	—	910	930	ТУ 48-21-87—72, слитки; ТУ 48-08-476—71, полосы «Пайка пластин из твердого сплава»
ЛО60—0,4	59—61	То же	—	—	0,3—0,5	—	—	900	ТУ 48-21-5018—72 «Пайка меди и стали»
ПМ60Мц25	60	10	5	Остальное	—	—	920	980	ТУ 48-21-143—72 «Пайка углеродистых и коррозионно-стойких сталей»
ЛОМНА49—05—10—4—04	48—50	Остальное	3,5—4,5	9,5—10,5	0,9—1,1	До 0,6 Al	—	830	ТУ 48-21-305—73 «Исправление дефектов чугунных отливок»
ЛНКМц49—10—0,3—0,2	48—50	То же	9—11	0,1—0,3	—	0,2—0,4 Si	920	935	ТУ 48-21-5012—72 «Пайка стали»
ПрАНМц0,6—4—2	Остальное	—	3—4	1,5—2,5	—	0,5—0,8 Al	1020	1050	См. ПМНМц68—4—2
ПМц10	То же	—	4—6	9—11,5	—	0,4—0,6 Cr; до 0,1 B + Ti	900	960	ТУ 48-21-141—72 «Пайка углеродистых и коррозионно-стойких сталей»
ПМГ10Н (№ 702)	»	—	1,5	—	—	10 Ge	—	1003	ТУ 48-21-534—76 «Пайка в среде водорода и азотоводородной смеси меди, никеля, вольфрама»
ПМГ4К (№ 570)	»	—	—	—	—	4 Ge, 2,5 Si	—	1006	ТУ 48-21-443—75 «Пайка в вакууме меди с молибденом и других разнородных материалов»

9. Медные припои, содержащие фосфор

Марка	Химический состав, % (медь — остальное)		Температура плавления, °С		Назначение
	Фосфор	Другие компоненты	Солидус	Ликвидус	
МФ1	9,5—11	—	714	850	ГОСТ 4515—75 «Пайка меди, приготовление припоев, содержащих фосфор»
МФ2	7,5—9,5	—	714	800	То же, что для МФ1
ПМФС6—0,15	6,0—7,0	0,1—1,5 Si	750	780	ТУ 48-3602-7—77 «Взамен серебряных припоев при пайке меди и ее сплавов»
МФОЦ7—3—2	5,0—7,0	2,5—3,5 Sn, 1,0—3,0 Zn	730	750	Пайка меди и ее сплавов
360К	4,0—6,0	14—16 Sn, 0,2—0,5 Ni	—	630	Пайка меди и ее сплавов, заменяет припой ПСр10

испаряющихся компонентов. Это позволяет использовать их в электровакуумном производстве вместо припоев, содержащих драгоценные металлы. Прочность соединений от 20 до 35 кгс/мм² в зависимости от паяемого материала.

Для пайки меди и медных сплавов нашли применение недорогие медно-фосфорные припои околоэвтектического состава. В качестве основы таких припоев можно использовать сплавы медь–фосфор (лигатуры) по ГОСТ 4515—75 (табл. 9). Эти припои применяют в виде литых прутков или отливок другой формы и стружки, из прессованной заготовки можно изготовить проволоку. Соединения имеют пониженную пластичность, которая может быть увеличена введением серебра (1—1,5% в припой ПМФС6—0,15). Снижение температуры плавления этих припоев и повышение прочности соединений из латуни достигается введением олова. Например, при пайке латуней Л63 и ЛС59 с флюсом № 209 хорошие результаты дает припой марки 360К. Прочность соединений латуни 14—16 кгс/мм², меди с латунью 16—18 кгс/мм².

Для пайки конструкций из коррозионно-стойких сталей применяют медные припои, содержащие марганец и никель. Некоторые, хорошо зарекомендовавшие себя припои этой группы приведены в табл. 10. Припои ВПр2 и ВПр4, содержащие литий и другие активные элементы, относятся к самофлюсующим и хорошо смачивают коррозионно-стойкую сталь при пайке в атмосфере аргона.

10. Медные припои для пайки конструкций из коррозионно-стойких сталей

Марка припоя	Химический состав, % (медь — остальное)					Температура плавления, °С	
	Никель	Марганец	Железо	Кремний	Другие компоненты	Солидус	Ликвидус
ВПр1	27—30	—	До 1,5	1,2—2,0	0,1—0,3 B	1080	1120
ГЖ 45—81	30—35	2,0—3,0	2,5—3,0	1,5—2,0	2,5—3,5 Cr	1120	1200
ВПр2	5—6	22—26	0,2—1,2	—	0,15—0,25 Li	960	980
ВПр4	28—30	27—30	1,0—1,5	0,8—1,2	4—6 Co, B, K, Li, Na, P *	940	980

* B 0,15—0,25%, K 0,01—0,2%, Li 0,15—0,3%, Na 0,05—0,15%, P 0,1—0,2%.

11. Медно-марганцевые припои, применяемые в США

Химический состав, % (медь — остальное)			Температура, °С	
Марганец	Никель	Кобальт	плавления	пайки
25	—	—	882	935
22	5	10	982	1035
23,5	9	—	940	995
23,5	—	9	940	995
38,5	9	—	899	955

Перспективными являются простые по составу медно-марганцевые припои с очень малым интервалом кристаллизации (табл. 11), нашедшие применение в США [4]. Институтом электросварки им. Е. О. Патона разработан припой П29—76 на основе меди, содержащий 25,0—35,0% Mn; 1,5—2,5% Sn; 1,0—3,0% Cd и 0,1—1,5% Si. Температура пайки этим припоем 780—800° С. Прочность на срез нахлесточных соединений стали достигает 60—65 кгс/мм², меди 30,0—36,0 кгс/мм². Припой рекомендуется вместо медно-цинковых, медно-никелевых и серебряных припоев.

Никелевые припои применяют главным образом для пайки коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и никелевых сплавов. Получение припоя, обеспечивающего высокие эксплуатационные характеристики соединения, облегчается с повышением температуры плавления припоя. Однако увеличение температуры плавления припоя и, следовательно, температуры пайки ограничивается отрицательными последствиями термического воздействия на паяемый материал. Для большинства материалов, для пайки которых применяют никелевые припои, допустимая температура нагрева при пайке находится в пределах 1000—1150° С, а с некоторой потерей свойств основного металла, которая может компенсироваться улучшением свойств паяного соединения в целом, до 1200—1250° С. Литейные жаропрочные сплавы допускают нагрев при пайке до 1220° С без потери свойств.

Указанные выше температуры пайки могут иметь припои различного состава, который конкретизируется требованиями, определяемыми условиями работы соединения: коррозионная стойкость в определенных средах, жаростойкость без больших механических нагрузок, жаростойкость в сочетании с значительными статическими или динамическими нагрузками и т. п. Кроме того, от состава зависит возможность изготовления припоев в наиболее удобной форме — в виде проволоки, фольги.

Никельмарганцевые припои с большим содержанием марганца пластичны, но не отличаются высокой жаростойкостью и жаропрочностью и используются как коррозионно-стойкие. Введение хрома до 10—12% повышает жаростойкость.

Припои с небольшим содержанием марганца, как правило, хрупки и применяются в виде порошка или фольги и других форм, полученных методом порошковой металлургии. Однако они значительно более жаростойки и жаропрочны.

Наиболее жаропрочными и жаростойкими, но менее технологичными являются припои без марганца, соответствующий уровень температуры плавления которых достигается введением кремния и бора, а повышение жаропрочности и жаростойкости — легированием хромом, молибденом, кобальтом и другими компонентами. Эти припои применяют в виде порошка, из которого приготовляют пасту на органическом связующем (например, на 10%-ном растворе акриловой смолы БМК-5 в растворителе Р-5).

Некоторые никель-марганцевые припои с различным содержанием марганца приведены в табл. 12. К жаропрочным припоям с малым содержанием марганца относится также припой, разработанный в ИЭС им. Е. О. Патона, ПАН-1, легированный хромом, кремнием и молибденом, с температурой пайки 1220° С. Разра-

12. Никель-марганцевые припои

Химический состав, % (никель — остальное)			Температура плавления, °С	
Марганец	Хром	Другие компоненты	Солидус	Ликвидус
67	—	16 Co, 1 B	1005	1025
55	9	—	—	1120
27—30	8—10	—	1120	1150
20—30	6—12	0,5—15 Si, 0,5—0,7 Mo	—	1140
13	10	9 Mo, 5 Si	1150	1190

ботаны также способы изготовления припоя в виде тонкого листа для вариантов припоя с различным содержанием кремния. Предел прочности стыковых соединений жаропрочных никелевых сплавов достигает 60,2; 33,5; 10,4 кгс/мм² при температурах соответственно 20, 800 и 1000° С.

Примером никелевого припоя, не содержащего марганец, является порошковый припой ВПр11 (14—16% Cr; 3—5% Fe; 4—5% Si; 0,5—0,6% C; 0,1—1,0% Al; остальное — Ni), плавящийся при 980—1050° С. Прочность соединений превышает 15 кгс/мм² при температуре 900° С. Улучшение свойств паяных соединений может быть достигнуто введением в порошкообразный припой наполнителя, нерасплавляющегося или частично расплавляющегося при температуре пайки. В припой ПАН-1 в качестве наполнителя вводят порошок никеля (припой ПАН-2), а в припой ВПр-11 — до 40% порошка сплава никель—кремний—бор (припой ВПр-11—40Н).

В табл. 13 приведены никелевые припои, стандартизованные в США. Для высокотемпературных нагруженных статическими и динамическими нагрузками соединений используют припои BNi—1 и BNi—2. Уступают им по прочности соединений, но лучше заполняют зазоры и более пригодны для тонкостенных конструкций припои BNi—3 и BNi—4. Припой BNi—5, как не содержащий бор, пригоден для пайки деталей внутренней части ядерных реакторов. Его недостаток — большое взаимодействие с основным металлом. Припои BNi—6 и BNi—7 хорошо заполняют зазоры, однако прочность соединения понижена, особенно с припоем BNi—6.

Платиновые, палладиевые и золотые припои (табл. 14) позволяют получать во многих случаях высококачественные соединения, но из-за дороговизны и дефицитности применяют только в особо ответственных изделиях.

13. Никелевые припои по стандарту США

Марка припоя по AWS/ASTM	Химический состав, % (никель — остальное)						Температура плавления, °С		Температура пайки, °С
	Хром	Кремний	Бор	Железо	Фосфор	Углерод	Ликвидус	Солидус	
BNi—1	14	4,5	3,5	4,5	—	0,7	980	1040	1180
BNi—2	6,5	4,5	3	2,5	—	До 0,5	970	1000	1040
BNi—3	—	5	3,5	1,5	—	» 0,06	980	1040	1040
BNi—4	—	4	2	1,5	—	» 0,06	980	1070	1150
BNi—5	19	10	—	—	—	» 0,15	1060	1120	1190
BNi—6	—	—	—	—	11	» 0,15	880	880	980
BNi—7	13	—	—	—	10	—	890	890	1020

14. Платиновые, палладиевые и золотые припои

Марка припоя	Химический состав, %	Температура плавления, °С	Назначение
Пл 99,93 (ГОСТ 13498—68)	⩾99,93 Pt	1769	Пайка вольфрама (в том числе пористого), молибдена для работы при высоких температурах
ППдН60—40	60 Pd; 40 Ni	1237	Пайка окалиностойких и коррозионно-стойких соединений из сталей и никелевых сплавов
ПЖК—1000	Pd—Ni—Cr	1250 (температура пайки)	
ПЗл82Н	82 Au, 18 Ni	950	Для соединений, работающих в глубоком вакууме, и для жаропрочных коррозионно-стойких соединений сталей, никелевых сплавов и разнородных материалов
ПЗл60СрМ	60 Au, 20 Ag, 20 Cu	845	Вакуумно-плотные соединения меди, никеля, ковара, коррозионностойкой стали в изделиях электронной техники
ПЗл35М	35 Au, 65 Cu	1010	
—	64 Au, 16 Ti, 20 W	1490	Пайка керамики с молибденом и ниобием для работы при температуре до 1300° С

15. Припои на основе титана, ванадия и циркония

Химический состав, %					Температура плавления, °С		Назначение — пайка
Титан	Ванадий	Цирконий	Ниобий	Другие компоненты	Солидус	Ликвидус	
Остальное	15	—	—	5 Cr	—	1640	Ниобия и его сплавов
То же	30	—	—	—	—	1630	
»	—	—	—	49—51 Cu, 1—3 Fe, 0,7—1,0 Si	940	960	Титановых сплавов
—	—	78	22	—	1740	1740	Тугоплавких металлов
—	30	70	—	—	1230	1230	Вольфрама, молибдена
16 *	28	Остальное	—	10 Ta	1400	1450	Сплавов ниобия
—	65	—	35	—	1810	1810	Вольфрама и ниобия

* Припой ВПр-20.

Титановые, ванадиевые и циркониевые припои (табл. 15) применяют для пайки титана и тугоплавких металлов. Припои, содержащие титан, используют также для пайки неметаллизированной керамики. Например, припой состава: 20% Ti, 5% Ni, по 0,1% Si и Fe, остальное медь, хорошо смачивает алюмооксидную керамику при температуре 990—1000° С. Подобные припои изготовляют в виде порошка. Получили также распространение различные биметаллические композиции: Cu—Ti, Ni—Ti, ПСр72—Ti.

Особую группу составляют **галлиевые припои-пасты.** Их приготовляют путем смешивания чистого расплавленного галлия (температура плавления 29,8° С) или сплавов галлия с различными металлами (температура плавления от 5 до 50° С) с порошком относительно тугоплавкого металла — меди, никеля, серебра и др. Полученная паста способна затвердевать при комнатной или повышенной температуре. Обычно для затвердевания пасты соединение нагревают до 100—300° С и выдерживают от 2 до 24 ч. Состав припоев-паст: 1) 34% галлия, 66% порошка меди; 2) 34% сплава состава: 74% Ga, 24% In, 2% Ag, 66% порошка меди. Прочность соединений меди колеблется в пределах 0,4—4,7 кгс/мм², в зависимости от температуры и времени выдержки при затвердевании пасты.

Для пайки алюминиевых сплавов используют главным образом **оловянные, цинковые, кадмиевые** (табл. 16) и **алюминиевые припои.**

Легкоплавкие припои систем олово—цинк, цинк—кадмий пригодны для бесфлюсовой ультразвуковой или абразивной пайки. Недостатком их является низкая коррозионная стойкость и прочность соединений. Несколько большей коррозионной стойкостью характеризуются соединения, паяные припоями, богатыми цинком, особенно припоем П380А.

Наиболее прочные и коррозионно-стойкие соединения могут быть получены с алюминиевыми припоями. Основным алюминиевым припоем является эвтектический силумин. Для приготовления припоя в виде литых заготовок той или иной формы, листа, прессованных прутков или проволоки и порошка используют первичный силумин в чушках по ГОСТ 1521—76, например СИЛ 0. Температура плавления колеблется от 580 до 590° С в зависимости от фактического содержания кремния (10—13%). Вследствие высокой температуры плавления припоя должна быть обеспечена высокая точность температуры пайки (пайка в печах или погружением во флюсовых ваннах).

Эвтектический силумин в фасонных отливках имеет марку АЛ2; его также используют как припой, но он может содержать значительно больше примесей, чем сплав СИЛ 0.

В сложных конструкциях с большим числом соединений целесообразно использовать листовой материал из алюминиевых сплавов (АМц, АД1), плакированный силумином (АПС). Для бесфлюсовой пайки в вакууме в припой вводят небольшое количество магния. Снижение температуры плавления припоя может быть достигнуто введением меди. Припой 34А состава: 6% Si, 28% Cu, остальное алюминий, плавится при температуре 525° С и может использоваться для пайки горелкой низколегированных алюминиевых сплавов (АМц, АД1).

В последнее время разработаны перспективные **припои, содержащие германий.** Например, припой АЛ4ГА состава: 9% Si, 5% Ge, остальное алюминий, плавится при 555—564° С (температура пайки 570—575° С). Особенностью этого

16. Оловянные, цинковые и кадмиевые припои для пайки алюминиевых сплавов

Марка припоя	Химический состав, %				Температура плавления, °С	
	Олово	Цинк	Кадмий	Другие компоненты	Солидус	Ликвидус
П200А	89—91	9—11	—	—	199	210
П250А	79—81	19—21	—	—	199	250
Мосэнерго А (ТУ 48-21-71—72)	Остальное	56—59	—	1,5—2,0 Cu	200	370
ПЦАМКд40	—	39—41	Остальное	11—12 Al, 8—9 Cu	—	310
П300А	—	60	40	—	260	340
П380	—	95	—	5 Al	382	382

припоя является возможность пайки термически упрочняемых сплавов АВ и АД33 и возможность последующего упрочнения соединений закалкой (525° С) и старением (160° С, выдержка до 6 ч). При этом прочность на отрыв достигает 29 кгс/мм².

Магниевые припои применяют главным образом для исправления дефектов магниевых отливок. Типичны припои магний—алюминий—цинк с температурой плавления от 560 до 625° С. Например, припой П380Мг имеет состав: 72—75% Mg, 2,0—2,5% Al, 23—25% Zn, температура плавления 550—560° С.

ФЛЮСЫ И ГАЗОВЫЕ СРЕДЫ

Классификация флюсов для пайки установлена ГОСТ 19250—73.

В зависимости от температурного интервала активности паяльные флюсы разделяют на низкотемпературные (до 450° С) и высокотемпературные (свыше 450° С). По природе растворителя различают флюсы водные и неводные (обычно спиртовые). По природе вещества, определяющего действие флюса, низкотемпературные флюсы бывают канифольные, кислотные, галогенидные, гидразиновые, фторборатные, анилиновые, стеариновые, а высокотемпературные — галогенидные, фторборатные, боридные, боридно-углекислые. Возможны различные комбинации активных веществ. По основному механизму действия флюсы могут быть защитными (пассивными) и активными. В табл. 17 приведены наиболее типичные паяльные флюсы различных групп, даны сведения о их температуре активности и основном назначении. ГОСТ 23178—78 гарантирует следующие значения растекаемости припоя на стали 12Х18Н9Т: для флюсов ПВ200, ПВ201, ПВ209 и ПВ209Х — 3,5 см², для флюса ПВ284Х — 2 см² (определяется по ГОСТ 20486—75).

В зависимости от способа пайки, характера производства (единичное, серийное, массовое), конструкции и размеров изделия и соединения, а также свойств флюсы могут использоваться в виде порошка, пасты или раствора.

Разработаны специальные газообразные флюсы, например флюс БМ-1 (ТУ 6-02-707—72), представляющий собой жидкость, кипящую при 54° С. Пары этой жидкости с помощью флюсопитателя вводятся в ацетиленовый трубопровод и, попадая в пламя горелки, образуют борный ангидрид, выполняющий роль флюса. Преимущество газообразного флюса заключается в практическом отсутствии продуктов реакции после пайки. Пайка в газовых средах (главным образом высокотемпературная) обычно позволяет полностью избавиться от применения флюса.

Для пайки в вакууме применяют специальные вакуумные печи или контейнеры, нагреваемые в электрических печах [3]. Обычно используют вакуум с остаточным давлением 10^{-2}—10^{-5} мм рт. ст. Чем ниже температура пайки и более легирован паяемый материал компонентами, обладающими большим сродством к кислороду, тем ниже должно быть остаточное давление. В ряде случаев это требование становится практически трудновыполнимым и приходится использовать различные технологические приемы, улучшающие смачиваемость припоями: при пайке жаропрочных сталей и никелевых сплавов — их никелирование, при пайке алюминиевых сплавов — введение магния в количестве 0,1 г/л объема контейнера для дополнительного воздействия паров магния на окисную пленку.

При пайке в атмосфере аргона применяют контейнеры различной конструкции. В некоторых случаях (при пайке титана) аргон подвергают дополнительной очистке. Часто применяют также никелирование сложнолегированных сталей и никелевых сплавов. Распространено активирование газовой среды при пайке в аргоне путем помещения в контейнер для пайки фторбората калия (KBF_4) в количестве около 1 г/л объема контейнера. При пайке фторборат калия разлагается с образованием фторида бора, взаимодействующего с окисной пленкой и улучшающего смачивание припоем.

Широко, особенно в радиоэлектронной промышленности, используют пайку в водороде. Допустимая влажность водорода зависит от паяемого материала: при пайке меди и низкоуглеродистых сталей пригоден водород из баллонов без

17. Паяльные флюсы

Продолжение табл. 17

Марка флюса	Основные компоненты	Содержание, %	Температура активности, °С	Паяемые материалы, применяемые припои
ФКСп (КЭ)	Канифоль Спирт этиловый	10—60 90—40	200—300	ГОСТ 19113—73 (канифоль) Медь и по серебряным, цинковым, оловянным покрытиям Sn—Pb припоями ПСр1,5, ПСр2
ФКТС	Канифоль Кислота салициловая Триэтаноламин Спирт этиловый	15—30 3,0—3,5 1,0—1,5 81—65	140—300	То же. Более активен, особенно при пониженных температурах пайки (<220° С)
ФТС	Кислота салициловая Триэтаноламин Спирт этиловый	4,0—4,5 1,0—1,5 95—94	140—300	То же. Для менее ответственных изделий
ЛТИ-120 (ТУ 84-406—73)	Канифоль Диэтиламин солянокислый Триэтаноламин Спирт этиловый	20—25 3,0—5,0 1,0—2,0 76—68	160—350	Углеродистая сталь, медь и ее сплавы, никель и его сплавы, покрытия — серебряные, цинковые, оловянные Sn—Pb припоями
ФДФс (Ф38Н)	Диэтиламин солянокислый Этиленгликоль Кислота ортофосфорная (уд. вес 1,7)	20—25 60—50 20—25	200—400	Сталь, нихром, ковар, медь и ее сплавы оловянно-свинцовыми припоями
ФГСп (Ф55)	Гидразин солянокислый Этиленгликоль или глицерин Спирт этиловый	2,0—4,0 25—50 73—46	165—350	Медь и ее сплавы, по покрытиям серебряным, цинковым, оловянным, оловянно-свинцовыми, оловянно-свинцово-кадмиевыми припоями
Прима 1	Хлористый цинк Хлористый аммоний Глицерин Метиловый спирт Вода	73 г 27 г 60 г 1 л 1 л	150—400	Медь и ее сплавы
Прима 2	Хлористый цинк Хлористый аммоний Соляная кислота Вода	6 4 5 85	150—400	Медные и железные сплавы
—	Хлористый цинк Хлористый аммоний Вода	48 12 40	150—320	Конструкционные стали, медь, латунь оловянно-свинцовыми припоями
—	Хлористый цинк Вода	40 60	290—350	То же. Припои с более высокой температурой плавления
Ф59А (ФТБф)	Триэтаноламии Фторборат кадмия Фторборат цинка Фторборат аммония	82,5 10 2,5 5	150—320	Алюминий и его сплавы легкоплавкие припои
34А	Хлористый калий Хлористый литий Фтористый натрий Хлористый цинк	54—56 29—35 9—11 8—12	420—620	Алюминий и его сплавы
Ф5	Хлористый калий Хлористый литий Фтористый натрий Хлористое олово Хлористый кадмий	45 38 10 3 4	420—620	Алюминиевые сплавы. Отсутствие хлористого цинка исключает эрозию паяемого металла из-за реакции с образованием цинка
16ВК (Ф435)	Хлористый калий Хлористый литий Хлористый натрий Фтористый калий Фтористый алюминий	45 35 10 5 5	580—620	ТУ 48-02-73—71. Низколегированные алюминиевые сплавы погружением в расплавленный флюс, припои на алюминиевой основе
Ф380МГ	Хлористый калий Хлористый натрий Хлористый литий Фтористый натрий Фторалюминат натрия	42,5 10 37 10 0,5	400—600	Магниевые сплавы, припои магний—алюминий—цинк
Ф134	Хлористый калий Хлористый литий Фтористый цинк Хлористый кадмий Хлористый цинк	35 30 10 15 10	390—420	Магниевые и алюминиевые сплавы
—	Бура	100	800—1150	Углеродистые стали, медные припои
ПВ200 (№ 200) (ГОСТ 23178—78)	Бора окись (борный ангидрид) Бура Фтористый кальций	65—67 18—20 14—16	800—1200	Коррозионностойкие и конструкционные стали, жаропрочные сплавы. Медные, никелевые, марганцевые припои, плавящиеся при 850—1150° С
ПВ201 (№ 201) (ГОСТ 23178—78)	Бора окись (борный ангидрид) Бура Фтористый кальций Лигатура (48% Al, 48% Cu, 4% Mg)	76—78 11—13 9,5—10,5 0,9—1,1	800—1200	То же, что для ПВ200. Более активен

Продолжение табл. 17

Марка флюса	Основные компоненты	Содержание, %	Температура активности, °С	Паяемые материалы, применяемые припои
ПВ209 (№ 209) (ГОСТ 23178—78)	Фтористый калий	41—43	700—900	Коррозионностойкие и конструкционные стали, медь и ее сплавы. Серебряные, медные с соответствующей температурой плавления
	Фторборат калия	22—24		
	Бора окись	34—36		
ПВ209Х (№ 209) (ГОСТ 23178—78)	Вариант флюса ПВ209. Получается химическим взаимодействием компонентов:			То же, что для ПВ209
	борная кислота	34,8—36,8	700—900	
	гидроокись калия (КОН)	27,9—29,9		
	фтористоводородная кислота	34,3—36,3		
ПВ284Х (№ 284) (ГОСТ 23178—78)	Получается химическим взаимодействием компонентов:			То же, что для ПВ209. Припои с более низкой температурой плавления
	борная кислота	29—31	600—800	
	гидроокись калия (КОН)	25—27		
	фтористоводородная кислота	43—45		
Ф100	Бура	60—73	650—1300	ТУ 48-08-48—70. Твердосплавный инструмент
	Борный ангидрид	21—21,8		
	Фтористый кальций	5—10		
ФПСН—2	Борная кислота	45	650—750	Чугун, припой — латунь ТУ 48-4-325—75
	Углекислый литий	22,5		
	Углекислый натрий	22,5		
	Солевая лигатура (NaCl — 72%, NaF — 27,5%)	10		
АНП—2	Борный ангидрид	68	800—1100	Пайка жаропрочных сталей и никелевых сплавов никелевыми припоями
	Бура	20		
	Фтористый натрий	9		
	Фторцирконат калия	3		
МАФ—1	Бура	33	800	ТУ 48-4-333—75. Пайка—сварка чугуна чугунным приноем УНЧ-2
	Азотнокислый натрий	27		
	Углекислый натрий	12		
	Фтористый натрий	12,5		
	Фторцирконат калия	8,5		
	Окись кобальта	7		

дополнительной осушки (точка росы —7° С), для пайки сталей типа 18—8 — осушенный водород с точкой росы —40° С, для жаропрочных сталей и сплавов — с точкой росы —65° С и ниже.

Кроме чистого водорода применяют более экономичную, при использовании баллонного газа, азотоводородную смесь, получаемую при диссоциации аммиака (ДА), состоящую из 75% водорода и 25% азота (по объему). При соответствующей очистке азотоводородная смесь может заменить чистый водород, за исключением случаев, когда имеется опасность образования нитридов или растворения азота в паяемом металле.

К недостаткам водорода и ДА относится взрывоопасность их смесей с воздухом. В связи с этим получили распространение газовые смеси с пониженным содержанием водорода. Это газовая смесь ПСА—08, содержащая 7—20% водорода, остальное — азот, осушенная до точки росы —20÷—40° С. Газовую смесь получают путем частичного сжигания водорода, содержащегося в диссоциированном аммиаке, и глубокой осушки. Восстановительная способность смеси и взрывобезопасность зависят от влажности и содержания водорода. При содержании водорода на нижнем уровне газ практически безопасен [1]. При недостаточной осушке газа, пайке коррозионно-стойких и жаропрочных сталей на детали наносится небольшое количество флюса.

Находят применение также смеси водорода с аргоном, содержащие 5—10% водорода. При высокой степени очистки от примесей смесь обладает достаточной активностью и взрывобезопасна. Наиболее целесообразна централизованная поставка смеси в баллонах (ТУ 51-641—74), но смесь может быть приготовлена и на месте применения, для этого необходима соответствующая аппаратура. В некоторых случаях при пайке можно использовать очищенный от кислорода и влаги азот. Такой азот содержит 2—4% водорода, точка росы до —65° С.

В качестве защитных и слабо восстановительных сред при пайке нашли применение различные углеводородные газы после частичного или почти полного сжигания. Они содержат окись углерода, углекислый газ, водород, азот. Точка росы зависит от степени осушки и может быть до —40° С (газовые смеси ПСО—06, ПСО—09).

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПАЙКИ

Основным элементом оборудования для пайки является устройство, обеспечивающее нагрев изделия до температуры пайки. Кроме специфических нагревательных устройств (паяльников, паяльных ламп, специальных горелок, ванн расплавленного припоя, электроконтактных нагревателей и пр.) широко используют обычное термическое и сварочное оборудование (печи, установки индукционного нагрева, газосварочные горелки, соляные печи и ванны, электронно-лучевые установки со сканирующим лучом, светолучевые установки, электроконтактные точечные и роликовые сварочные машины и др.).

В промышленности распространены паяльники различных типов. Для электро- и радиомонтажных работ широко применяют наиболее экономичные паяльники с внутренним электрическим нагревателем. Часто электрические паяльники комплектуют терморегуляторами, а иногда — устройством для дозированной подачи припоя. Для пайки алюминиевых сплавов применяют ультразвуковые паяльники.

Для пайки в печах используют в основном электрические печи сопротивления с рабочей температурой, соответствующей температуре пайки. В зависимости от объема производства, размеров и массы паяемых изделий выбирают камерные печи периодического действия с ручной или механизированной загрузкой и методические с различными устройствами для перемещения паяемых изделий: толкательные, конвейерные и другие, а также колпаковые, шахтные и элеваторные печи.

Для пайки в газовых средах и вакууме используют как обычные воздушные печи (при этом детали помещают в герметизируемые контейнеры, заполняемые

18. Электрические печи различного типа

Тип печи и марка	Газовая среда	Рабочая температура, °С	Размеры рабочего пространства, мм		
			Ширина	Длина	Высота
Камерные					
СНО—8,5.11.5/16	Воздух	1600	850	1100	500
СНЗ—5.10.3,2/12	Защитная	1200	500	1000	320
Шахтные					
СШЗ—8.40/10	»	1000	800	—	4000
ШВ—5.15/13	Вакуум	1300	500	—	1500
Колпаковая					
ГН—2.3/12	Водород	1200	200	—	300
Элеваторная					
СЭВ—8.8/16	Вакуум	1600	800	—	800

газом, или вакуумируемые), так и специальные печи, в том числе вакуумные и водородные. Современная номенклатура печей, изготовляемых различными заводами электротермического оборудования, обширна, и информация о ней может быть получена в специальных изданиях.

В табл. 18 приведена характеристика некоторых электрических печей, которые могут быть использованы для пайки.

Для индукционного нагрева под пайку применяют машинные преобразователи, например ПВ 50/2500, ПВ 100/8000—1, мощностью 50 и 100 кВт с частотой тока 2500 и 8000 Гц соответственно, и ламповые высокочастотные установки ВЧИ—25/0,44—3П, ВЧИ—63/0,44—3П, ВЧИ—63/0,066—3П (в числителе — номинальная колебательная мощность в киловаттах, в знаменателе — частота тока в мегагерцах). Для пайки погружением могут быть использованы обычные термические соляные печи и ванны, а для пайки алюминиевых сплавов — специальные, с муфелем и электродами из жаростойких никелевых сплавов. Более полно вопросы оборудования для пайки рассматриваются в специальной литературе [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Есенберлин Р. Е.** Пайка и термообработка деталей в газовой среде и вакууме. Л., Машиностроение, 1972. 182 с.
2. **Лашко Н. Ф., Лашко С. В.** Пайка металлов. М., Машиностроение, 1967. 365 с.
3. **Справочник** по пайке. Под ред. С. Н. Лоцманова, И. Е. Петрунина, В. П. Фролова. М., Машиностроение, 1975, 407 с.
4. **Smithells C. J.** «Metals reference book». 5th ed. London—Boston, 1976, p. 1548—1551.

Глава 12

ТЕХНОЛОГИЯ ПАЙКИ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕХНОЛОГИИ ПАЙКИ

В основу разработки технологии пайки принимаются требования к свойствам соединений, определяющиеся из условий работы паяных изделий (прочность при нормальной и повышенной температурах, коррозионная стойкость в определенных средах, тепло- и электропроводность и др.). В связи с этим одним из главных вопросов при разработке технологии пайки является выбор системы и состава припоя.

При выборе припоя кроме прочностных и коррозионных характеристик учитывается способность его к взаимодействию с паяемым металлом (материалом) и температурные границы процесса пайки. Нижней границей температуры пайки может служить температура плавления припоя, а верхней — допустимая температура нагрева металла (материала) при пайке.

Особенности взаимодействия припоя с металлом и температурные границы пайки позволяют решить задачу выбора способов пайки по механизму образования соединений и виду источника нагрева, а также способу активации поверхности при пайке. В соответствии со способом выбирают оборудование для пайки конкретных изделий.

Схема общих подходов к выбору технологического процесса пайки изделий приведена на рис. 1. Подготовка деталей к пайке включает следующие операции: 1. Механическую обработку деталей и очистку поверхности. 2. Сборку деталей и укладку припоя. Механическую обработку деталей производят с целью обеспечения, при последующей сборке, зазоров требуемой величины и иногда используют как средство предварительной подготовки поверхности. После механической обработки на поверхности деталей могут присутствовать различные загрязнения и окисные пленки.

В общем случае очистка поверхности деталей перед пайкой заключается в удалении загрязнений, а также пленок, образовавшихся на поверхности деталей в процессе длительного их хранения или их производства, в тех случаях, когда механическую обработку поверхности не применяют.

Для удаления окисных пленок с поверхностей, подвергаемых пайке, используют различные виды механической обработки, зачистку шкурками и стальными щетками, а также травление деталей в ваннах различных составов (табл. 1). После травления деталей производят их промывку в горячей или холодной воде и сушку. Для сплавов алюминия после щелочного травления в 10%-ном растворе NaOH рекомендуется промывка в воде, осветление в водном растворе азотной кислоты (1 : 1), промывка и сушка. По имеющимся данным наиболее высокие прочностные свойства паяных соединений получены после травления в концентрированной ортофосфорной кислоте при температуре 60° С в течение 50—70 с.

Обезжиривание производится протиркой поверхности органическими растворителями: спиртом, бензином, ацетоном, четыреххлористым углеродом, уайт-спиритом, дихлорэтаном, трихлорэтиленом и др.

При массовом производстве для обезжиривания поверхностей используют обработку деталей в ваннах различных составов. Для этих целей в практике находят широкое применение ванны щелочных составов и ванны для электрохимического и ультразвукового обезжиривания (табл. 2).

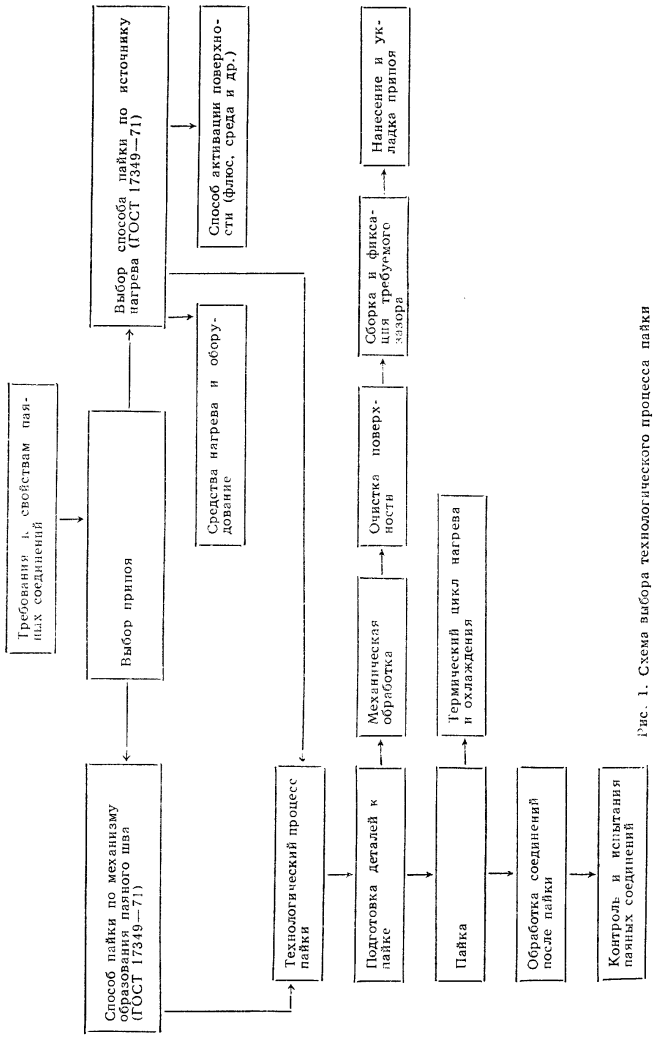


Рис. 1. Схема выбора технологического процесса пайки

1. Составы и режимы работы ванн для химического травления различных металлов и сплавов [13, 16]

Компоненты	Содержание, г/л	Температура, °С	Время травления, мин	Назначение
Серная кислота	100—150	20	>3	Низкоуглеродистые и углеродистые стали
То же Соляная кислота Присадка КС	75 125 3	30—40	>3	То же
Серная кислота Соляная кислота	250—300 400—450	40—50	>40	Коррозионно-стойкие и жаропрочные стали и сплавы
То же Азотная кислота Присадка КС	500—550 70—80 1,8—2,2	40—50	3—5	То же
Едкий натр	100	60	~1,0	Алюминий и его сплавы
То же Углекислый газ Селитра калиевая	20—35 20—30 Насыщенный раствор	40—60 300—350	1,0 0,5—1,0	То же Молибден, вольфрам и их сплавы
	Состав, %			
Ортофосфорная кислота Азотная кислота	65 35	20	1—2	Молибден и его сплавы
Фтористоводородная кислота Азотная кислота Вода	30 60 10	20	2—3	Ниобий и его сплавы
Плавиковая кислота Соляная кислота Вода	5 15 80	20	3—5	Титан и его сплавы

2. Состав ванн для химического обезжиривания [16]
(содержание компонентов в г/л)

№ состава	Натрий		Тринатрий фосфат	Эмульгатор ОП-7	Жидкое стекло	Назначение
	едкий	углекислый				
1	30—40	40—50	3—5	0,5	—	Для стали и чугуна
2	15—30	10—25	10—35	0,5	10—25	
3	—	—	50—65	—	30—50	
1	5—10	15—30	30—60	0,5	—	Для меди и ее сплавов
2	40—50	40—50	30—40	—	Контакт Петрова 15—20	
3	—	20—25	30—35	5—10	5—10	
1	—	40—70	10—20	—	20—30	Для алюминия и его сплавов
2	—	25—30	25—30	—	Контакт Петрова 10—12	
3	—	20—25	20—25	5—10	—	
—	10—20	25—30	—	—	3—5	Для никеля и его сплавов *

* Состав ванн для химического обезжиривания никеля и его сплавов указан при $T = 60 \div 70°$ С и выдержке 3—5 мин.

Детали, имеющие на поверхности покрытия, наносимые для облегчения пайки, обезжириваются. В случае длительного хранения деталей в неблагоприятных условиях, перед пайкой допускается аккуратная зачистка поверхности мелкой шкуркой и последующее обезжиривание.

Детали, обработанные резанием или другими видами механической обработки при небольших сроках хранения перед пайкой, подвергают только обезжириванию.

Детали, обработанные механически, хранившиеся длительное время, а также детали, не прошедшие перед пайкой механической обработки, и особенно детали, изготовленные из металлов с трудно удалимой окисной пленкой, перед пайкой подвергают зачистке или травлению (с целью удаления окисной пленки) и последующему обезжириванию органическими растворителями непосредственно перед сборкой.

При сборке деталей под пайку необходимо выполнить два условия: 1) обеспечить требуемое взаимное расположение деталей и зафиксировать их в этом положении, исключив возможность их случайного смещения в процессе пайки; 2) выдержать определенные соединительные зазоры между деталями в собранном состоянии. Эти задачи решаются применением соответствующей конструкции деталей, обеспечивающей их взаимную фиксацию при сборке, или специальных приспособлений. Приспособления можно разделить на поддерживающие и скрепляющие, используемые при местном или общем нагреве деталей при пайке.

К конструкциям приспособлений предъявляются следующие общие требования: 1) масса приспособлений не должна быть большой, особенно при пайке в печи; 2) площадь контакта приспособлений с деталью должна быть минимальной; 3) при использовании местного нагрева при пайке зажимы приспособлений должны быть выведены из зоны нагрева; 4) при пайке в газовых средах должно быть обеспечено свободное поступление защитного или активного газа к деталям в местах пайки; 5) при изготовлении приспособлений и деталей из разных материалов должны быть учтены коэффициенты линейного теплового расширения.

Обеспечить при сборке зазоры оптимальной величины важно по многим причинам. Величина зазора определяет расход припоя и влияет на весовые характеристики конструкции.

Расход припоя при паяном соединении внахлестку $G = KlSD\gamma$, где G — масса припоя, г; l — длина нахлестки, см; S — ширина листов, см; D — зазор, см; γ — плотность припоя, г/см^3; K — коэффициент, равный 1,3÷1,5 и предусматривающий некоторый избыток припоя на образование галтели.

Аналогичным образом может быть рассчитан расход припоя при сборке телескопических соединений и соединений других видов. При изменении величины зазора изменяется толщина прослойки припоя, что влияет на прочностные свойства паяных соединений. Взаимодействие припоя с металлом при выбранном режиме пайки приводит к появлению на границе припой—металл диффузионных зон определенной толщины. При малой величине зазора эти зоны могут смыкаться, в то время как при больших зазорах, наряду с диффузионными зонами, в центральной части шва может сохраниться прослойка припоя исходного состава, имеющего, как правило, меньшую прочность.

Изменение величины зазора влияет также на кинетику заполнения припоем зазоров и максимальную высоту подъема припоя в вертикальных зазорах.

Заполнение припоем зазоров происходит под действием капиллярного давления

$$p_{\text{кап}} = G_{\text{ж}}\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)\cos\theta;$$

для цилиндрического капилляра при $r_1 = r_2 = r$

$$p_{\text{кап}} = \frac{2\sigma_{\text{ж}}\cos\theta}{r};$$

для плоского капилляра при $r_1 = \infty$ и $r_2 = \frac{a}{2}$

$$p_{\text{кап}} = \frac{2\sigma_{\text{ж}}\cos\theta}{a}.$$

Максимальная высота подъема L припоя в капилляре может быть найдена из условия равенства капиллярного давления металлостатическому:

$$\frac{2\sigma_{\text{ж}}\cos\theta}{a} = \gamma Lg \text{ или } L = \frac{2\sigma_{\text{ж}}\cos\theta}{a\gamma g}.$$

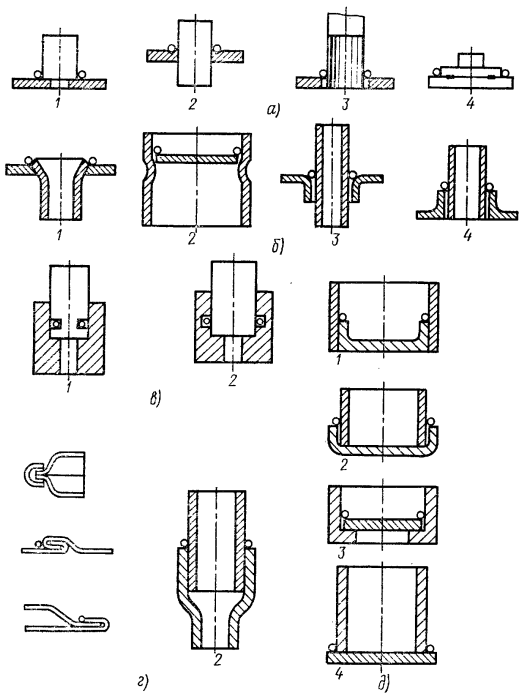


Рис. 2. Примеры фиксации деталей, размещения и закрепления припоя при сборке:

а — пайка деталей к фланцам; фиксация: *1* — на выточке; *2* — кернением; *3* — накаткой; *4* — точечной сваркой; *б* — пайка труб с фланцем; фиксация: *1* — развальцовкой; *2* — зиговкой; *3* — кернением; *4* — на приспособлении; *в* — пайка стержней с бобышками, укладка припоя: *1* — в проточке стержня; *2* — в проточке бобышки; *г* — соединение деталей при пайке легкоплавкими припоями (*1* и *2*); *д* — пайка труб с днищами, перегородками (*1*—*4*)

В приведенных уравнениях: r_1; r_2 — радиусы капилляра; $\sigma_ж$ — поверхностное натяжение жидкости; a — расстояние между пластинами; γ — плотность жидкости; g — ускорение свободного падения; L — высота подъема жидкости в капилляре.

Оптимальные зазоры при пайке припоями различных систем приведены ниже.

Припой	Зазор, мм
Алюминиевый	0,15—0,25
Медный	0,01—0,05
Медно-цинковый	0,05—0,15
Медно-фосфорный	0,03—0,1
Серебряный	0,05—0,1
Никелевый	0,05—0,15
Оловянно-свинцовый	0,1—0,2

Когда выдержать требуемые зазоры при сборке не удается, используют металлокерамическую пайку или принудительное заполнение зазоров припоем под давлением. Припой может быть использован в виде фольги, ленты, проволоки, порошка, прутка, таблеток, стружки и т. д.

При конструировании соединений учитывают возможность при сборке размещения, укладки и закрепления припоя. Примеры фиксации деталей при сборке, укладке, размещения и закрепления припоя при пайке различных конструктивных элементов приведены на рис. 2. Задача фиксации и размещения припоя упрощается в тех случаях, когда припой наносят на поверхности деталей предварительно (лужением, гальваническим способом, термовакуумным напылением, шоопированием, плакированием и другими способами).

ПАЙКА РАЗЛИЧНЫХ МЕТАЛЛОВ

ПАЙКА УГЛЕРОДИСТЫХ И НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

К этой группе материалов относятся низкоуглеродистые стали, неупрочняемые термической обработкой, среднеуглеродистые стали и низколегированные конструкционные стали, подвергающиеся термической обработке (нормализации, закалке, отпуску). Максимальная температура нагрева углеродистых сталей при пайке должна быть ограничена температурами 1100—1150° С, для низколегированных сталей — температурами 850—900° С.

Основные трудности, возникающие при пайке углеродистых и низколегированных сталей, сводятся к обеспечению смачивания их припоями. Для сталей, подвергающихся термической обработке, задача выбора припоя иногда дополнительно усложняется необходимостью совмещения температуры пайки с температурой термической обработки. Низкотемпературную пайку указанных сталей можно проводить оловянно-свинцовыми припоями. При использовании этих припоев смачивание достигается применением активированных и кислотных флюсов, содержащих в растворах канифоли, воды, глицерина активные добавки: $ZnCl_2$, HCl, HPO_3, гидразин, солянокислый анилин и др.

Для улучшения смачивания в некоторых случаях низкотемпературную пайку проводят по гальваническим покрытиям из меди и никеля, наносимым на паяемые поверхности.

Наибольшее применение для низкотемпературной пайки нашли малосурьмянистые и сурьмянистые оловянно-свинцовые припои типа ПОССу 30—0,5; ПОССу 30—2 и др.

При высокотемпературной пайке этих металлов используют в основном припои медные, медно-цинковые и серебряные. Из медных припоев исключаются медно-фосфорные из-за опасности образования на границе сталь—припой хрупких соединений.

Широким применением в промышленности пользуется процесс пайки низкоуглеродистых и низколегированных сталей медными и медно-цинковыми припоями в печах с активными газовыми средами водорода и диссоциированного аммиака. Достоинства процесса: относительная простота, малые дефицитность и стоимость припоя, а также применяемой газовой среды, хорошая внешняя поверхность деталей после пайки, исключающая необходимость последующей обработки паяных узлов. В связи с достаточно высокой температурой плавления меди (1083° С) имеется возможность последующей термической обработки паяных узлов. Наряду с преимуществами этот процесс имеет недостатки: из-за высокой температуры плавления меди пайку осуществляют при температурах 1130—1200° С. Это приводит к росту зерна и снижению свойств паяемых металлов. В некоторых случаях для улучшения свойств металла после пайки применяют нормализацию.

Высокая температура пайки и большая жидкотекучесть меди приводят к проникновению ее по границам зерен в поверхностные слои паяемого металла и дополнительному снижению его свойств. В связи с высокой жидкотекучестью меди требуется очень точная обработка деталей при сборке для соблюдения зазоров в некоторых случаях в пределах 0—0,03 мм [12]. Это усложняет и удорожает технологию пайки.

Для снижения требований к допустимой величине зазоров иногда применяют способ металлокерамической пайки порошком меди, разведенным на связке. Применение активной среды водорода ограничивает номенклатуру паяемых сталей, в которых недопустимо обезуглероживание поверхности.

Для ограничения роста зерна при пайке медью иногда используют способы пайки с нагревом ТВЧ, в соляных ваннах, электросопротивлением и др. При таких способах нагрева существенно сокращается время пребывания металла при высоких температурах и ограничивается рост зерна паяемого металла.

При пайке медью на воздухе применяют флюсы: 18В, буру, 200 и 201.

При пайке медью имеются рекомендации по применению газовых сред неполного сгорания смеси воздуха с пропаном, природным газом и другими горючими газами. Пайку рассматриваемых сталей медью можно проводить в среде аргона и в вакууме.

Применение для пайки рассматриваемых сталей медно-цинковых припоев позволяет получить ряд преимуществ: в связи с меньшей температурой плавления этих припоев снижается температура нагрева под пайку и ограничивается рост зерна паяемого металла, появляется возможность совмещения температуры пайки с температурой термической обработки многих углеродистых и низколегированных сталей.

При пайке медно-цинковыми припоями требования к величине зазоров менее жесткие (допускаются зазоры от 0,05 до 0,1 мм). Это обстоятельство позволяет снизить требования к точности обработки деталей и упрощает процесс их подготовки. В процессе пайки медно-цинковыми припоями наблюдается испарение цинка, что приводит к повышению температуры распая соединений, но иногда вызывает пористость в паяных швах.

Пайка медно-цинковыми припоями может проводиться на воздухе с теми же флюсами, что и для пайки медью, в активных газовых средах водорода и диссоциированного аммиака и в нейтральной среде аргона. Из-за испарения цинка пайка медно-цинковыми припоями в вакууме исключается. Применяемые для пайки медно-цинковые припои имеют температуру плавления в пределах 905—940° С, что позволяет проводить пайку при температурах 960—980° С.

Применение для пайки рассматриваемых сталей серебряных припоев открывает большие возможности для расширения диапазона температур пайки. Это в свою очередь упрощает решение задачи совмещения температуры пайки с температурой термической обработки или проведения термической обработки после пайки. Например, при пайке серебряными припоями с низкими температурами плавления (припой ПСр40) можно решить задачу пайки закаленных узлов при температурах, соответствующих температурам высокого отпуска, ниже точки Ac_1.

Чистое серебро не взаимодействует с железом и не применяется для пайки сталей из-за плохой смачиваемости. В связи с этим серебряные припои также обладают малой активностью по отношению к углеродистым и низколегированным конструкционным сталям. Для активации поверхности паяемых металлов необходимо применять более активные флюсы, чем при пайке медью и медно-цинковыми припоями.

Пайка серебряными припоями на воздухе может проводиться с применением активных флюсов 209 и 284, в газовых средах водорода, диссоциированного аммиака и аргона.

ПАЙКА КОРРОЗИОННО-СТОЙКИХ, ЖАРОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ

К указанной группе материалов можно отнести коррозионно-стойкие стали, имеющие в основе железо и содержащие в качестве легирующих элементов хром; хром и никель; хром, никель, титан; хром, никель, алюминий; коррозионно-стойкие, жаропрочные стали, отличающиеся от коррозионно-стойких сталей высоким содержанием никеля (от 18 до 37%) и титана (от 2,1 до 3,7%) и жаропрочные сплавы на никелевой основе, легированные хромом, алюминием и титаном. Основное значение для этой группы материалов имеет высокотемпературная пайка, преследующая цель получения соединений, способных работать при высокой температуре.

Максимальная температура пайки коррозионно-стойких сталей и жаропрочных сплавов, при которой сохраняются их исходные свойства, совпадает с температурой их термической обработки и для разных марок сталей и сплавов находится в пределах 920—1250° С.

Присутствие в рассматриваемых сталях и сплавах указанных легирующих элементов приводит, вследствие избирательного их окисления, к появлению на их поверхности окисных пленок сложного состава, содержащих окислы хрома, алюминия, титана и их комплексы. В связи с наличием окисных пленок сложного состава наибольшей трудностью при пайке материалов этой группы является обеспечение смачиваемости жидким припоем их поверхности [3].

Данные о структуре и составе окисных пленок, образующихся при нагреве на воздухе различных сталей и сплавов, приведены в работе [5]. Там же дано уравнение для расчета критической концентрации компонентов в сплаве, с превышением которой на поверхности сплава образуется только окисел этого элемента.

Уравнение для расчета критической концентрации компонентов удовлетворяет соотношению

$$NB'' = \frac{V}{Z_в M_о}\left(\frac{\pi R_{пар}}{D}\right)^{1/2},$$

где V — молярный объем сплава; $Z_в$ — валентность атомов компонента; $M_о$ — относительная атомная масса кислорода; D — коэффициент диффузии компонента B в сплаве; $R_{пар}$ — константа параболической скорости исключительного образования окисла компонента B.

Рассматривая структуру этого уравнения, можно сделать вывод, что окисел обогащается легирующим элементом в степени тем большей, чем больше сродство этого элемента к кислороду и чем легче условия диффузии иона через пленку. Последнее, как правило, облегчается при уменьшении ионного радиуса элемента.

По имеющимся данным [2], при наличии в легированных сталях хрома в окисной пленке появляются соединения $(Cr, Fe)_2O_3$ или $FeCr_2O_4$. Вследствие более высокого сродства алюминия к кислороду наблюдается его избирательное окисление. Например, на стали, содержащей 23,5% Cr, 1,8 Al и 1,3 Si, после 1000 ч выдержки при температуре 1200° С окисный слой содержал 49,7% Al и 3% Cr; кремний в нем отсутствовал. На избирательное окисление алюминия в сплавах железа с хромом указывается в этой же работе: в сплаве Fe — 22% Cr — 5% Al

в температурном интервале 800—1100° С окисная пленка состоит главным образом из α-модификации Al_2O_3.

В работе [6] выдвигается два основных положения о смачиваемости окислов жидкими расплавленными металлами.

1. Смачиваемость окисла улучшается с ростом сродства жидкого металла к кислороду.

2. Смачиваемость окисла ухудшается с увеличением свободной энергии образования окислов, т. е. с ростом энергии связи кислорода в окисле.

Взаимодействие жидкого металла с окислом определяется взаимодействием этого металла с кислородом окисла по реакции

$$Me'' + Me'O \rightleftarrows Me' + Me''O;$$

$$\Delta F = \Delta F'' - \Delta F',$$

где $\Delta F''$ и $\Delta F'$ — свободные энергии реакции окисления жидкого металла и металла, образующего твердый окисел.

Энергия такой реакции при протекании ее от начального состояния, характеризующегося наличием Me'', Me'O, до равновесия (присутствуют все четыре вещества), по мнению автора работы, является работой адгезии.

Приведенные данные позволяют заключить, что смачивание таких окислов, как Al_2O_3, жидкими металлами (Ni, Sb, Fe, Pb, Cu, Co, Cr, Si), входящими в состав многих промышленных припоев, затруднено даже при очень высоких температурах нагрева (большие значения ΔF и краевых углов смачивания); то же можно сказать и об окислах титана. Смачивание окислов хрома затруднено в меньшей степени, чем окислов алюминия и титана.

На основании приведенных выше соображений о смачиваемости окислов металлами рассматриваемые материалы по содержанию легирующих элементов можно разделить на пять групп:

I группа — коррозионно-стойкие стали, содержащие хром;

II группа — коррозионно-стойкие стали содержащие хром и алюминий;

III группа — коррозионно-стойкие стали, содержащие хром и титан;

IV группа — жаропрочные стали, содержащие хром, алюминий и титан;

V группа — жаропрочные сплавы, содержащие хром, алюминий и титан.

Наиболее широко применяемые стали и сплавы, входящие в эти группы, с оценкой их смачиваемости по растеканию припоев при нагреве до температур (1000—1250)° С в вакууме с остаточным давлением $1 \cdot 10^{-3}$—$1 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст. приведены в табл. 3.

Сопоставление полученных результатов позволяет сделать общие выводы.

1. Содержание хрома в сталях до 26—30% (I группа) не является препятствием к смачиванию и затеканию припоя в зазор. При температуре 1250° С в вакууме обеспечивается смачиваемость и заполнение зазора при пайке даже чистого хрома.

2. Элементами, ухудшающими смачиваемость, являются алюминий и титан. Присутствие алюминия в составе сталей более 1,3% (II группа) приводит к резкому ухудшению смачивания и вызывает необходимость применения для пайки активных газовых сред или дополнительного флюсования.

3. Действие титана (III группа) проявляется в меньшей степени, и при содержании его в коррозионно-стойких сталях до 0,5% практически не влияет на смачиваемость. Ухудшение смачиваемости наблюдается при содержании титана от 1% и выше.

4. Одновременно присутствие алюминия и титана в жаропрочных сталях (IV группа) резко ухудшает смачиваемость и приводит к необходимости проведения процесса пайки в активных газовых средах.

5. В жаропрочных сплавах (V группа), основу которых составляет никель, присутствие алюминия и титана оказывает меньшее влияние на смачиваемость, видимо, в связи с тем, что часть алюминия и титана связываются никелем в соединение $Ni_3(Al, Ti)$, играющее роль упрочнителя.

3. Группы коррозионно-стойких сталей и жаропрочных сплавов в зависимости от легирования окислообразующими элементами

Марка сталей и сплавов	Химический состав, %					Припои	Температура, °С	Оценка смачиваемости
	Cr	Al	Ti	Fe	Ni			
I. Стали, содержащие хром								
12Х13	13	—	—	85,6	—	ВПр2 Г40ХН	1000—1040 1200—1220	Хорошая
20Х13	12—14	—	—	87,5	—	ВПр4	1000—1100	
14Х17Н2 (ЭИ268)	17	—	—	80,6	1,5—2,5	ВПр4 Г40НХ	1020—1040 1200—1220	
08Х17Н5М3 (Х17Н5М3)	17	—	—	73,5	4,5—5,5	Г40НХ ВПр2	1200—1220 1000—1040	
12Х18Н9	18	—	—	70,5	8—10	ПЖК 35	1220—1240	
12Х25Н16Г7АР (ЭИ835)	23—26	—	—	54,8	15—18	Г40НХ ВПр2	1200—1220 1000—1040	
II. Стали, содержащие хром и алюминий								
09Х15Н8Ю (Х15Н9Ю)	14—15,5	0,7—1,3	—	75,7	7,0—9,4	ВПр4 Г40НХ	1020—1040 1200—1220	Удовлетворительная
III. Стали, содержащие хром и титан								
12Х18Н10Т	17—19	—	5·С—0,8	66,7	9—11	Г40НХ ВПр2 ВПр4	1200—1220 1020—1100	Удовлетворительная
12Х21Н5Т (ЭИ811)	20—22	—	0,25—0,5	72	4,8—5,8	Г40НХ ПЖК 35	1200—1220 1220—1240	
08Х15Н5Д2Т (ВНС-2)	14,1—15,5	—	0,25—0,5	76	4,5—5,5	ВПр2, ВПр4 Г40НХ	1020—1100 1200—1220	Хорошая

Продолжение табл. 3

Марка сталей и сплавов	Химический состав, %					Припои	Температура, С	Оценка смачиваемости
	Cr	Al	Ti	Fe	Ni			
IV. Стали и сплавы, содержащие хром, алюминий, титан								
10Х11Н20Т3Р (ЭИ696)	10—12,5	0,8	2,6—3,2	63,4	18—21	ВПр4 Г40НХ	1110—1120 1200—1220	Плохая
10Х12Н22Т3МР (ЭИ696М)	10—12,5	0,8	2,6—3,2	59,0	21—25	ВПр4 Г40НХ	1100—1120 1200—1220	
ЭП-105	12—15	2,5—3,5	2,1—2,7	41,3	33—37	Г40НХ	1200—1220	
НХ35ВТЮ (ЭИ787)	14—16	0,7—1,4	2,4—3,2	41,7	33—37	ПЖК 35 Г40НХ ВПр4	1220—1240 1200—1220 1100—1120	
V. Жаропрочные сплавы, содержащие хром, алюминий, титан								
ХН78Т (ЭИ435)	19—22	0,15	0,15—0,35	Не более 6,0	75	Г40НХ ВПр2, ВПр4	1200—1220 1100—1120	Хорошая
ХН75МБТЮ (ЭИ602)	19—22	0,35—0,75	0,35—0,75	3,0	71,3	ВПр4 Г40НХ	1100—1120 1200—1220	
ХН60ВТ (ЭИ868)	23,5—26,5	0,5	0,3—0,7	4,0	51,1	ВПр4 Г40НХ	1100—1120 1200—1220	
ХН77ТЮР (ЭИ437Б)	19—22	0,55—0,95	2,3—2,7	4,0	74,6	Г40НХ	1200—1220	
ХН70ВМТЮ (ЭИ617)	13—16	1,8—2,3	1,8—2,3	5,0	73,6	Г40НХ	1200—1220	
ХН62МВКЮ (ЭИ867)	8,5—10,5	4,2—4,9	—	4,0	60,0	ПЖК 35	1220—1240	Удовлетворительная
ЖС6	10—12	4,3—5,0	2,6—3,5	2,0	67,13	ПЖК 35	1220—1240	

4. Механические свойства паяных соединений из коррозионно-стойких сталей при испытании на срез

Паяемый материал	Припой	Среда	Сопротивление срезу, кгс/мм², при $T_{испыт}$, °С		
			20	300	500
12Х13	ВПр4	Аргон	27,5	18,7	16,1
14Х17Н2	ВПр4		26,6	26,3	15,8
08Х17Н5М3	45А		≥22	—	—
	ВПр2	Вакуум	28,4	15,5	11,4
	ВПр4		26,7	16,3	12,4
12Х18Н10Т	ВПр1		27,4	19,3	19,1
	Г40НХ		24,9	—	—
	ВПр8		23,6	—	—

В табл. 4 приведена прочность на срез соединений из коррозионно-стойких сталей, паяных различными припоями. Важным вопросом при разработке технологии пайки этих материалов является рациональный выбор состава припоя. При выборе припоя учитывается необходимость сохранения коррозионных свойств соединений, а также коррозионных свойств и прочности при высокой температуре для коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов.

Обеспечение жаропрочности вызывает необходимость применения припоев с высокой температурой плавления, по возможности приближающейся к максимально допустимой температуре нагрева при пайке.

Припои на основе серебра при различных способах активации поверхности хорошо смачивают и заполняют зазоры при пайке, но рабочие температуры их находятся в пределах 500—600° С; припои на основе меди, обладая хорошей смачиваемостью и заполнением зазоров, не обеспечивают нужной жаропрочности паяных соединений.

Для пайки коррозионно-стойких и коррозионно-стойких жаропрочных сталей в промышленности нашли применение припои, в основу которых положены следующие системы легирования: серебро—медь; серебро—медь—никель; медь—никель—марганец; марганец—никель—хром и др. Многие из припоев этих систем отличаются малой пластичностью и плохо прокатываются в фольгу.

В связи с этим для пайки коррозионно-стойких и коррозионно-стойких жаропрочных сталей нашел применение процесс контактно-реактивной пайки с использованием эффекта контактного плавления в системах медь—марганец, медь—марганец—никель.

Лучший способ нанесения этих металлов на поверхности коррозионно-стойких сталей термовакуумное напыление.

При нагреве деталей с нанесенными покрытиями и последующем контактном плавлении меди и марганца в безокисленной среде происходит образование жидкой фазы, смачивающей паяемые поверхности, затем насыщающейся элементами паяемого металла (металлов) с образованием в паяном шве при кристаллизации твердых растворов медь—марганец или медь—марганец—никель [17]. Замечено, что медь имеет большую растворимость в жидкой фазе, чем марганец.

Покрытия медь—марганец и медь—марганец—никель лучше наносить послойно в следующем порядке: марганец—медь, медь—марганец—медь, никель—марганец—медь. Такой порядок нанесения покрытий обеспечивает меньшую испаряемость марганца из покрытия. Механические свойства паяных соединений, выполненных по покрытиям с использованием контактного плавления, приведены в табл. 5.

Для пайки жаропрочных сплавов припои указанных систем не обеспечивают нужной жаропрочности. Припои систем марганец—хром—никель в результате

5. Механические свойства соединений из коррозионно-стойких сталей, паянных по покрытиям

Соединение металла	Покрытия	Температура пайки, °С	Время, мин	Прочность $\sigma_в$, кгс/мм²	Среда	Давление
12Х18Н10Т + 12Х18Н10Т	Cu—Mn	950—960	15—20	45—48	Аргон	1,2 кгс/см²
12Х25Н16Г7АР + 12Х21Н5Т	Cu—Mn—Ni	1000—1100	15—20	45—48	Вакуум	$1 \div 5 \times 10^{-2}$ мм рт. ст.
12Х18Н10Т + БрХ0,8	Cu—Mn	920—940	5—10	Равнопрочная со сплавом БрХ0,8	Аргон, вакуум	1,2 кгс/см²
12Х25Н16Г7АР + Бр0,8	Cu—Mn—Ni	940—980	5—10			$1 \div 5 \times 10^{-2}$ мм рт. ст.

взаимодействия с паяемым металлом при высоких температурах проникают по границам зерен жаропрочных сплавов, вызывая их охрупчивание.

Перспективными для пайки жаропрочных сплавов являются припои на основе палладия с добавками никеля, хрома, кремния и других элементов [7]. Некоторым недостатком этих припоев является высокая температура плавления и нагрева под пайку. Примером может служить пайка жаропрочных сплавов на никелевой основе типа ЖС6. Эти сплавы обрабатывают термически: закалка от температур 1200—1220° С и старение при 950° С. При температурах, превышающих температуру термической обработки, происходит коагуляция γ'-фазы и карбидных фаз, их растворение в твердом растворе и разупрочнение сплава. Поэтому пайка этих сплавов возможна при температурах, не превышающих 1220° С.

Применение для этого сплава припоя ПЖК 1000 на основе палладия с температурой пайки 1240° С может вызвать ухудшение свойств основного металла и приводит к необходимости контроля свойств основного металла после нагрева по циклу пайки.

Изучение диаграммы состояния Pd—Ni показало возможность проведения процесса пайки жаропрочных сплавов чистым палладием, используя эффект контактного плавления. Минимальная температура солидуса сплавов никель—палладий составляет 1237° С. В результате исследований было установлено, что контактное плавление через прослойку палладия начинается при 1200—1220° С и протекает очень активно. Для пайки использовали палладий Пд 99,9 (ГОСТ 13462—68) толщиной 0,03 мм. В полученных соединениях не обнаруживалось проникновения припоя по границам зерен и обеспечивалась высокая прочность паяных соединений.

В табл. 6 приведены результаты сравнительных испытаний свойств соединений при 800—850° С, полученных при пайке чистым палладием и припоями ПЖК 1000 и ВПр8.

При пайке изделий из коррозионно-стойких сталей, жаропрочных сталей и сплавов при наличии зазоров до 1,0 мм используют композиционные припои с наполнителем (металлокерамическая пайка). Наполнитель в процессе спекания образует каркас с разветвленной сетью капилляров, которые затем пропитываются легкоплавкой составляющей припоя.

При использовании композиционных припоев легко осуществляется процесс пайки, в том числе и в вертикальном положении, а путем выбора состава легкоплавкой составляющей припоя и наполнителя можно повысить температуру распая

6. Механические свойства паяных соединений сплавов типа ЖС6

Состояние сплава	Припой	$T_{исп}$, °С	Кратковременная прочность, кгс/мм²		Длительная прочность, кгс/мм²	
			$\tau_{ср}$	$\sigma_в$	$\sigma_{в\ 100}$	$\sigma_{в\ 300}$
Литое	ПЖК 1000	800	20—26	—	—	—
	Pd—Ni—Cr—Si		23—24	—	12—14	10—12
	Pd		28—32	—	—	—
	ВПр-8		18—21	—	6—8	4—6
Деформируемое	ПЖК 1000	850	24—25	26—28	8—10	6—8
	Pd		25—26	28—32	10—12	10—12
	ВПр-8		18—20	23—25	6—8	4—6

вследствие растворения наполнителя в жидкой составляющей припоя. Процесс пайки порошковыми припоями ведется в активной среде газообразного флюса, образующейся при разложении тетрафторбората калия при нагреве в аргоне.

При пайке жаропрочных сплавов ВЖ98 и ЖС6 припоями на основе ВПр11 с наполнителем получены свойства паяных соединений, приведенные в табл. 7.

7. Механические свойства паяных соединений сплавов ВЖ98 и ЖС6

Температура испытаний, °С	Механические свойства, кгс/мм²		
	$\sigma_в$	$\sigma_{100\ ч}$	σ_{-1}
20	30—32	—	21—22
900	21—23	2,3	—
1000	13—16	—	—

Сборочный зазор при пайке образцов составляет 0,5—0,7 мм.

В промышленности нашли применение припои с наполнителем композиционного состава на базе припоя: ВПр11; 60% ВПр11 + 40% Н (наполнитель) и 50% ВПр11 + 50% Н.В качестве наполнителя разработан сплав состава: кремний 1,8—2%, бор 0,8—1,1%, никель — остальное. [А. с. 270467 (СССР)].

Пайка коррозионно-стойких сталей, жаропрочных сталей и сплавов низкотемпературными припоями проводится относительно редко для ограниченной номенклатуры изделий. Для пайки используют оловянно-свинцовые припои с применением паяльников, газовых горелок, плиток, ванн с расплавленным припоем, светового луча и т. д. В качестве флюсов применяют активные флюсы: водные растворы хлористого цинка с добавками соляной кислоты или растворы ортофосфорной кислоты. Для облегчения процесса в некоторых случаях на поверхности, подлежащие пайке, наносят гальванические покрытия, чаще из меди или никеля.

ПАЙКА ТИТАНА И ЕГО СПЛАВОВ

Титан и сплавы на его основе обладают высокой активностью к взаимодействию с большинством газов (кислородом, азотом, водородом) и почти со всеми элементами, входящими в состав припоев. Последствием такого взаимодействия является снижение пластических свойств металла и образование на границе припой—титан интерметаллических соединений, охрупчивающих спай.

В связи с высокой активностью титана смачивание его припоями при температурах выше 750—800° С обычно не вызывает трудностей. При температурах выше 750—800° С происходит растворение кислорода в титане и своеобразная

самоочистка поверхности. Эти процессы возможны при нагреве в среде нейтральных газов аргона, гелия высокой чистоты или в вакууме.

Одним из способов уменьшения влияния примесей кислорода в нейтральной газовой среде и в вакууме является применение негерметичных защитных экранов (рис. 3), ограничивающих объем газовой среды, способной взаимодействовать с поверхностью детали. При применении защитных экранов кислород в объеме экрана быстро исчерпывается и в процессе дальнейшего нагрева происходит очистка поверхности титана. Такой же механизм очистки поверхности наблюдается и в нахлестке соединений. В связи с этим при печном относительно длительном нагреве затекание припоя в зазор и его заполнение происходит достаточно активно, однако поверхности деталей после пайки оказываются темными. При применении защитных экранов поверхность деталей после пайки не темнеет и имеет цвет металла в исходном состоянии.

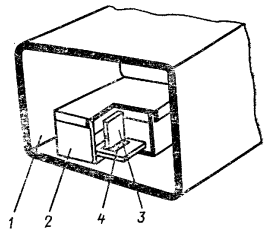


Рис. 3. Схема пайки с применением защитного экрана:
1 — герметичный контейнер; *2* — защитный экран; *3* — паяемый образец; *4* — припой

Пайку титана и его сплавов можно проводить при температурах до 1000° С; при более высоких температурах наблюдается заметный рост зерна основного металла, снижение его прочностных свойств и уменьшение угла изгиба α.

В табл. 8 приведены механические свойства сплава ОТ4 толщиной 1 мм после нагрева по режимам пайки и механические свойства этого сплава после лужения припоями ПСр 72 и ПСр 85—15 при различных температурах. Механические свойства сплава ОТ4 при нагреве до температур пайки и последующем контакте с припоем заметно снижаются. Сказанное позволяет считать, что основные трудности пайки титана и его сплавов заключаются в защите поверхности деталей от взаимодействия с газами и предотвращении образования интерметаллических соединений на границе припой—титан.

В настоящее время наметились определенные направления в решении проблемы пайки титана.

1. Пайка по барьерным или защитным покрытиям, исключающим взаимодействие титана с припоем.

2. Диффузионная пайка, основанная на использовании тонких покрытий из металлов (например, меди и никеля), образующих в контакте с титаном легкоплав-

8. Изменение механических свойств сплава ОТ4, нагретого по режимам пайки без припоев и с припоями

Состояние сплава	Температура нагрева, °С	Механические свойства, кгс/мм²			α°
		$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	σ_{-1}	
Исходное без нагрева	—	73,2	82,5	30,0	95
После нагрева	800	71,1	77,0	—	89
	900	69,1	76,0	28,0	76
	1000	68,2	75,0	—	76
	1100	—	—	—	39
После нагрева в вакууме с припоем ПСр 72	900	62,0	70,0	9,8	50
	920	—	—	—	46
	950	—	—	—	38
После нагрева в вакууме с припоем ПСр 85—15	980	65,0	72,0	16,0	60
	1000	—	—	—	50

9. Режимы диффузионной пайки и механические свойства паяных соединений сплавов титана с различными покрытиями

Марка сплава	Покрытие *	Температура, °С	Время выдержки, мин	$\tau_{ср}$, кгс/мм²
ОТ4-1	Cu	960	40	42—50
ВТ20	Cu	960	50	45—50
ОТ4	Cu—Zr	930	60	50—55
ОТ4	Cu—Zr	1150	10	>60
		960	60	

* Толщина покрытия 10—15 мкм.

кие эвтектики с последующим рассасыванием их в процессе выдержки при повышенных температурах.

3. Применение порошковых припоев на основе титана с добавками меди, никеля, циркония с ограничением количества жидкой фазы из элементов, растворяющихся в титановой основе припоя.

4. Применение серебряных припоев с ограниченным содержанием меди.

В качестве барьерных покрытий при пайке титана используют медные, никелевые, хромо-никелевые, кобальто-никелевые покрытия.

Пайка по медным и никелевым покрытиям позволяет получить хорошие результаты при ограниченной температуре нагрева под пайку, не превосходящей температуры образования эвтектики в системах Ti—Cu, Ti—Ni.

Так, при пайке сплава ОТ4 по медному покрытию припоем ПСрМО 68-27-5 максимальная прочность получена при температурах пайки 790—810° С; при более высоких температурах начинается растворение медного покрытия в титане и прочность соединения снижается [1].

Применение хромоникелевого и кобальто-никелевого покрытий снимает ограничения по температуре, однако прочность соединений определяется прочностью на границе припой—покрытие и зависит от качества нанесения покрытий и прочности его сцепления с поверхностью титана.

Диффузионная пайка титана по тонким слоям металлов, нанесенных гальваническим способом или термовакуумным напылением, обеспечивает получение высоких прочностных свойств паяных соединений ($\tau_{ср}$ = 40÷60 кгс/мм²) [4].

Режимы диффузионной пайки для различных покрытий приведены в табл. 9.

При пайке титана порошковыми припоями системы Ti—Cu—Ni—Zr, основу которых составляет титан, получены высокие значения прочности ($\tau_{ср}$ = 40÷÷50 кгс/мм²).

В припоях содержится, как правило, до 40—50% титана и циркония, а также медь и никель, образующие легкоплавкие эвтектики с титаном и цирконием. При таком составе припоев сохраняется температура пайки в интервале 950—1000° С.

В промышленности нашел применение припой ВПр16, позволяющий вести пайку при температурах 920—960° С. Прочность соединений, паяных припоем ВПр16, возрастает с увеличением времени выдержки при температуре пайки.

В соединениях, паянных серебряными припоями, прочностные свойства определяются характером взаимодействия титана с компонентами, входящими в состав припоев, таких, как медь, никель, серебро, цинк и др. [11].

Сопротивление срезу соединений, паянных серебряными припоями, 10—23 кгс/мм², а предел выносливости σ_{-1} на базе 10^7 циклов 8—20 кгс/мм².

Охрупчивание титана под действием расплавленных серебряных припоев и получение низких прочностных свойств обусловлено образованием интерметаллических соединений типа Ti_2Cu, TiAg, Ti_2Ni и др. Из многих серебряных припоев

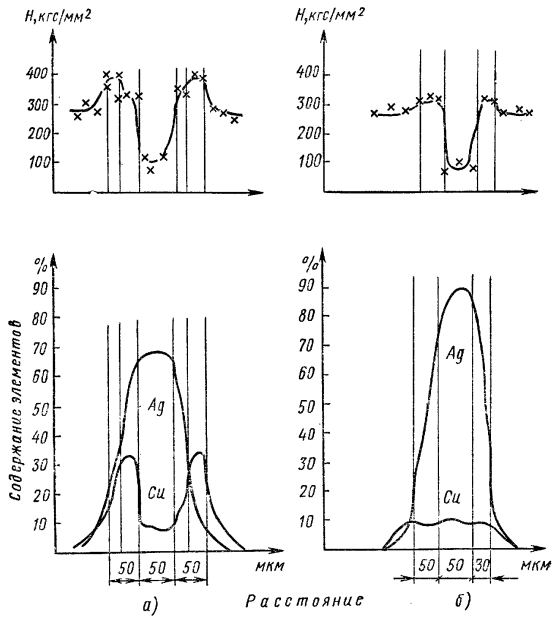


Рис. 4. Изменение твердости и распределение химических элементов по сечению соединений из сплава ВТ20, паянных в вакууме:

а — припой ПСр72, температура пайки 860° С, выдержка 15 мин; *б* — припой ПСр 92, температура пайки 920° С, выдержка 15 мин

наибольшую прочность при пайке можно получить, применяя серебряные припои с ограниченным содержанием меди.

Припои, содержащие до 28% Cu, такие как ПСр 72, ПСр 62, ПСрМО 68-27-5 образуют на границе титан—припой интерметаллические соединения с концентрацией меди до 35—40%, что приводит к снижению прочностных свойств паяных соединений. Для сплавов ОТ4-1 и ВТ20 получены $\tau_{ср}$ = 10÷15 кгс/мм², σ_{-1} = = 8÷10 кгс/мм².

При пайке припоем ПСр 92 концентрация меди на границе титан—припой остается на уровне 8—10%, что позволяет получить более высокие прочностные свойства паяных соединений ($\tau_{ср}$ = 18÷22 кгс/мм², σ_{-1} = 15÷18 кгс/мм²).

Результаты измерения твердости и распределения химических элементов по сечению паяных соединений для припоев ПСр 72 и ПСр 92 приведены на рис. 4. Эти же данные подтверждаются японскими учеными, которые считают, что содержание меди в серебряных припоях для пайки сплавов титана не должно превышать 10%, а в случаях превышения указанного содержания меди в припое в состав припоя целесообразно вводить никель, образующий с медью твердый раствор и тем самым снижающий концентрацию меди на границе припой—титан.

Пайка титана низкотемпературными припоями затруднена из-за окисной пленки, находящейся на его поверхности. В связи с этим пайку указанными припоями можно проводить в безокислительной среде при температурах выше 750° С или на воздухе по покрытиям при более низких температурах. В качестве покрытий наибольшее распространение получили: никель, наносимый гальваническим и химическим способами, и медь, наносимая гальваническим способом. Возможно горячее лужение титана оловом в ваннах при температурах выше 700—750° С и процесс пайки оловом в вакууме или аргоне при тех же температурах.

ПАЙКА АЛЮМИНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ

Сложность пайки алюминия и его сплавов определяется прежде всего трудностями удаления и разрушения окисной пленки, имеющейся на поверхности паяемых деталей. Окись алюминия имеет температуру плавления 2050° С и нерастворима ни в твердом, ни в жидком металле.

В связи с разницей в коэффициентах теплового расширения при нагреве в окисной пленке возникают мельчайшие трещины, однако в контакте с атмосферой, содержащей кислород, сплошность пленки восстанавливается. Для удаления и разрушения окисной пленки при пайке используют флюсы на основе хлористых и фтористых солей калия, натрия, лития; в качестве активных растворителей в флюсы вводят добавки фторидов.

Окисная пленка, имеющаяся на поверхности алюминия и его сплавов, защищает металл от коррозии, поэтому применение активных флюсов, разрушающих окисную пленку, содержащих в составе хлориды и фториды, вызывает опасность коррозии паяных соединений. Последующая промывка соединений от остатков флюса, особенно нахлесточных, мало эффективна. В связи с этим большое внимание уделяется процессам пайки без применения флюса.

Среди этих процессов можно назвать пайку в парах магния (аргон или вакуум 10^{-6} мм рт. ст. + пары магния) [14], в глубоком вакууме ($10^{-6} \div 10^{-8}$ мм рт. ст.), а также припоями, содержащими галлий [15]. Первый и второй процессы основаны на применении для нагрева при пайке алюминия среды с низким парциальным давлением кислорода. В первом случае такая среда создается в результате связывания кислорода парами магния, во втором случае — за счет глубокого вакуума.

Действие паров магния связывают с непосредственным взаимодействием паров магния с поверхностью алюминия и припоя [14]. При нагреве магний, испаряясь, разрушает окисную пленку на алюминии, проникая в ее поры и трещины, и обеспечивает смачивание паяемой поверхности чаще припоями типа силумин.

Галлий обладает высокой проникающей способностью и при нарушении сплошности пленки легко проникает в мельчайшие трещины и ее дефекты, создавая условия для растекания припоя.

Алюминий обладает относительно низкой температурой плавления 660° С, в связи с чем для пайки технически чистого алюминия (сплав АД1) может быть допущена температура нагрева не выше 600—620° С. Химический состав и допустимые температуры нагрева для некоторых сплавов алюминия приведены в табл. 10.

Сплавы алюминия, упрочняемые нагартовкой, нечувствительны к нагреву в отожженном состоянии до любой температуры, не превышающей предельно допустимую для них. При необходимости сохранить прочность нагартованного состояния следует выбирать припои с температурой ниже 350—400° С (температура разупрочнения).

Сплавы алюминия, упрочняемые термической обработкой, нужно паять при температуре 200—250° С или совмещать температуру пайки с температурой термической обработки для данного сплава, равномерно нагревать в печи и охлаждать на воздухе, т. е. создавать условия неполной закалки. Последующее

10. Химический состав и допустимые температуры нагрева некоторых алюминиевых сплавов

Основа сплава	Марка сплава	Средний химический состав * и основные компоненты, %				Допустимая температура нагрева при пайке, °С
		Cu	Mg	Mn	Zn	
Упрочняемые нагартовкой (деформируемые)						
Al—Mn	АМц	—	—	1,5	—	До 620
Al—Mg	АМг	—	2,5	0,3	—	» 590
Al—Mg	АМг6	—	6,0	0,6	—	» 500
Упрочняемые термической обработкой						
Al—Cu—Mg	Д16	4,5	1,5	0,6	—	200—250 или 450—505
Al—Cu—Mn	Д20	6,5	—	0,6	—	170—250 или 500—540
Al—Zn—Mg—Cu	В95	1,5	2,4	0,4	6,0	До 475
Специальные материалы						
Al—Al_2O_3	САП-1	Спеченный алюминий с содержанием Al_2O_3 около 10%				До 500

* Алюминий остальное.

старение (искусственное или естественное) приводит к получению высокой прочности.

Пайку алюминиевых материалов типа САП (спеченный алюминиевый сплав) проводят при температурах до 500° С вследствие его вспучивания и деформации при более высокой температуре.

Для низкотемпературной пайки алюминия и его сплавов применяют припои на основе олова, цинка с добавками кадмия, алюминия, меди, серебра и других элементов, имеющих температуру плавления до 350—450° С и используемых с неорганическими флюсами на основе фтористых и хлористых солей, олова, цинка, натрия, и органическими флюсами на основе фторборатов кадмия, цинка, аммония. Температура плавления флюсов Ф59А, Ф61А, Ф54А находится в пределах 180—250° С.

Применение при низкотемпературной пайке высокоактивных флюсов требует тщательного удаления их остатков после пайки, так как они представляют потенциальную опасность появления коррозии. Для того чтобы исключить опасное действие флюсов, разработаны методы пайки по барьерным покрытиям, наносимым гальваническим и химическим способами, напылением и плакированием. В качестве покрытий используют медь, никель, цинк, серебро, никельфосфорные покрытия, осажденные из специальных растворов. Пайку по покрытиям оловянно-свинцовыми припоями проводят с применением бескислотных и активированных флюсов.

Для низкотемпературной пайки или лужения без флюса используют способы удаления пленки абразивом, ультразвуком. В первом и втором случаях окисная пленка удаляется с помощью абразивных инструментов: шабера, металлических щеток, напильника, металлическим порошком, а также кристаллами припоя, находящегося в твердо-жидком состоянии. Процесс разрушения окисной пленки с помощью ультразвука основан на явлении кавитации, возникающей в припое под действием ультразвуковых колебаний, передающихся от высокочастотного генератора через магнитострикционный излучатель к припою.

Лужение или пайку производят с помощью ультразвуковых паяльников или погружением в ванны с расплавленным припоем, оснащенные ультразвуковым устройством. Для лужения и пайки ультразвуком рекомендуются припои, содержащие олово, цинк и кадмий.

Для высокотемпературной пайки алюминия и его сплавов применяют припои на основе алюминия, содержащие медь, кремний, цинк. Наиболее применимы силумин эвтектический и припой 34А с температурами плавления 577 и 525° С соответственно.

Для пайки с флюсами широкое применение нашел флюс 34А. Ввиду большой активности флюса 34А и возможного растворения алюминия хлористым цинком, входящим в его состав, для тонкостенных конструкций рекомендуют флюсы менее активные — типа Ф5, в которых хлористый цинк заменен хлористым оловом.

При пайке алюминия погружением в солевые ванны, выполняющие роль флюса и среды для нагрева, возможно применение ванн с флюсами различных составов. Примером может служить флюс состава: 49—51% KCl, 22—25% ZnCl, 15—15% NaCl, 3—5% KF, 3—5% AlF_3 [А. с. 361047 (СССР)].

Прочность соединений, паянных с флюсами, невысока; при пайке силумином максимальная прочность на отрыв составляет 7—9 кгс/мм² (сплав АМц, температура пайки 550° С).

При высокотемпературной пайке используют бесфлюсовые способы: контактного плавления в вакууме, в парах магния и в глубоком вакууме с остаточным давлением $1 \cdot 10^{-6} \div 1 \cdot 10^{-8}$ мм рт. ст. При контактном плавлении на поверхность алюминия наносят тонкие слои покрытий, например, меди или серебра, которые при нагреве проникают сквозь дефекты окисной пленки и образуют с алюминием жидкую фазу — припой. Образовавшаяся жидкая фаза обеспечивает смачивание и растекание припоя по всей паяемой поверхности.

Пайку контактным плавлением проводят в вакууме $1 \cdot 10^{-1} \div 1 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст. с приложением давления, способствующего удалению излишков жидкой фазы из зоны соединения. Этот метод можно использовать при пайке алюминия с медью при нанесении на медь серебряного покрытия, а также паять алюминий, используя контактное плавление в системах алюминий—медь, серебро, кремний. Покрытия наносят на поверхность алюминия с помощью термовакуумного напыления, плакирования, гальванических процессов и других способов.

При пайке в парах магния применяют контейнеры с аргоном или вакуумом, в которые закладывают магний. При пайке в парах магния на сплавах АМц и АМг получены соединения с высокой прочностью и хорошей коррозионной стойкостью. Получены положительные результаты по пайке алюминия и его сплавов в глубоком вакууме ($1 \cdot 10^{-6} \div 1 \cdot 10^{-8}$ мм рт. ст.).

ПАЙКА ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ

Тугоплавкие металлы и сплавы на их основе обладают высокими температурами плавления и термоэмиссионными свойствами, способностью активно окисляться и поглощать газы при повышенных температурах. Материалы этой группы обладают высокой коррозионной стойкостью в определенных агрессивных средах.

Молибден и вольфрам образуют летучие окислы, интенсивно испаряющиеся при нагреве выше 600° С. В связи с этим на детали, изготовленные из этих материалов, предназначенные для работы на воздухе при высоких температурах, требуется наносить защитные покрытия.

Молибден и вольфрам отличаются малой плотностью при 20° С и охрупчиваются после нагрева выше температур рекристаллизации вследствие роста зерна.

Ниобий и тантал при нагреве на воздухе выше 200° С активно окисляются и взаимодействуют с азотом. Окисление этих металлов и взаимодействие с азотом приводит к образованию на поверхности окисных и нитридных пленок.

В связи с высокой активностью тугоплавких металлов к взаимодействию

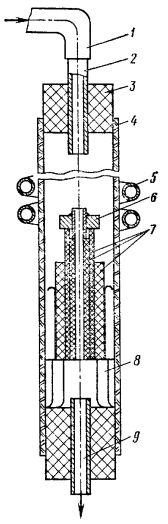


Рис. 5. Схема пайки в кварцевой трубке с нагревом ТВЧ:
1 — резиновый шланг для подачи аргона; *2* — трубка для подачи аргона; *3* — резиновая пробка; *4* — кварцевая трубка; *5* — индуктор; *6* — паяемый образец; *7* — керамические трубки; *8* — подставка; *9* — трубка для выхода аргона

с газами и способностью окисляться при нагреве для пайки требуется высокая чистота среды по кислороду и азоту.

Молибден и вольфрам рекомендуется нагревать в вакууме, аргоне, гелие, а также в среде водорода и диссоциированного аммиака с точкой росы —40÷—50° С. Для пайки ниобия и тантала следует использовать вакуум с остаточным давлением не выше $1 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст. и очищенные нейтральные газы (аргон, гелий).

Для сохранения свойств исходного материала максимальная температура пайки материалов этой группы не должна превышать температуру их рекристаллизации.

Однако для деталей, предназначенных для работы при более высоких температурах (2000° С и выше), температура пайки может превышать температуру рекристаллизации и в этом случае снижение свойств паяемого металла неизбежно.

Пайку легкоплавкими и среднеплавкими припоями (ГОСТ 19248—73) проводят при температурах до 1200—1300° С, а пайку высокоплавкими и тугоплавкими припоями — при более высоких температурах в зависимости от требований, предъявляемых к условиям работы изделий при эксплуатации. Нагрев под пайку до температур 1200—1300° С можно осуществлять в обычных электрических печах с применением герметичных контейнеров, заполненных необходимой для пайки средой, в вакуумных печах различных типов и в водородных печах. Нагрев под пайку при температурах выше 1250—1300° С можно производить токами высокой частоты (ТВЧ), световым лучом, электросопротивлением в герметичных контейнерах, камерах, кварцевых трубках, в вакууме или газовой среде, а также расфокусированным или сканирующим электронным лучом в электронно-лучевых установках. На рис. 5 приведена схема пайки в кварцевой трубке с нагревом ТВЧ. При нагреве ТВЧ и электросопротивлением необходимо учитывать форму и сечение стенок нагреваемых деталей. Нагрев ТВЧ целесообразно применять для деталей, имеющих форму тел вращения, а электросопротивлением — для деталей с постоянной толщиной стенок в зоне нагрева.

При пайке припоями указанных групп возникают различные трудности. При пайке легкоплавкими и среднеплавкими припоями наиболее сложным вопросом является обеспечение смачивания, а при пайке тугоплавкими припоями — по возможности сохранение исходных свойств паяемого металла.

Пайку тугоплавких металлов оловянно-свинцовыми припоями можно осуществлять при температурах до 350—400° С по медным или никелевым покрытиям, наносимым на паяемые поверхности термовакуумным напылением, гальваническим и другими способами.

Для лучшего сцепления никелевого покрытия с поверхностью тугоплавких металлов рекомендуется применять термическую обработку деталей в вакууме при 850—900° С после нанесения покрытий.

Для пайки молибдена и вольфрама без покрытий оловянно-свинцовыми припоями, а также припоями на основе серебра и меди можно рекомендовать способ предварительного лужения поверхности деталей, включающий следующие операции: нанесение на поверхности, подлежащие пайке или лужению, водного раствора окислов молибдена (MoO_2, MoO_3), доведенного до сметанообразного состояния;

11. Сопротивление срезу образцов из сплавов ВМ1 (числитель) и ВН2 (знаменатель) паяных припоями ВПр2 и ВПр4

Припой	Среда	Температура испытаний, °С	$\tau_{ср}$, кгс/мм²
ВПр2	Воздух	20	31 / 35,1
ВПр2	Аргон	600	47,6 / 24,3
ВПр4	Воздух	20	37,5 / 28,2
ВПр4	Аргон	600 / 700	33,3 / 29,7

сушку при температурах до 100° С и нагрев деталей в среде водорода с точкой росы —40÷—50° С для восстановления окислов молибдена. Последующее лужение молибдена и вольфрама по восстановленному слою окислов ведут в среде водорода, аргона и в вакууме при температуре выше 800° С. При нагреве в среде водорода процессы восстановления окислов и лужения можно совместить в одну операцию нагрева.

Слой окислов представляет сеть разветвленных капилляров, течение припоя в которых возможно при углах смачивания поверхности припоем $\theta < 90°$. По такой технологии можно нанести припой на поверхность практически любой величины и заданной конфигурации [8]. Процесс лужения по слою окислов может рассматриваться как способ управления течением припоя по поверхности и в около галтельных участках шва.

Для высокотемпературной пайки в интервале температур 1200—1300° С могут быть использованы припои на основе серебра, меди, никеля и палладия. Пайка тугоплавких металлов в этом интервале температур для каждого металла имеет свои особенности.

Молибден и вольфрам плохо смачиваются припоями на основе серебра и меди, поэтому пайку их этими припоями лучше вести при температурах, превышающих температуру пайки для обычных металлов на 50—150° С, т. е. при 950—1200° С. Для пайки лучше использовать самофлюсующие припои на основе меди и серебра или применять пайку по покрытиям из меди и никеля.

При выборе припоев для высокотемпературной пайки ниобия в интервале 1200—1300° С необходимо учитывать способность его к образованию интерметаллического соединения с никелем, входящим в состав многих стандартных припоев. Для пайки ниобия в качестве припоя можно рекомендовать чистую медь, припои на основе меди и палладия. Средние прочностные свойства паяных соединений из сплавов молибдена и ниобия приведены в табл. 11.

Тантал и его сплавы особенно чувствительны к примесям газов, имеющихся в нейтральной среде. Поэтому пайку тантала и его сплавов осуществляют в вакууме при остаточном давлении ниже $1 \cdot 10^{-4} \div 1 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст. Тантал плохо смачивается припоями; пайку среднеплавкими припоями рекомендуется вести по покрытиям из серебра, меди, никеля.

При пайке тугоплавкими припоями для всех указанных металлов в качестве припоев можно применять чистый титан, цирконий и сплавы на их основе; для пайки вольфрама — чистый ниобий и тантал.

Указанные металлы-припои образуют с молибденом, ниобием, танталом и вольфрамом сплавы в виде непрерывного ряда твердых растворов.

Учитывая, что пайку тугоплавкими припоями проводят при температурах, значительно превышающих температуры рекристаллизации указанных материалов, механические свойства паяных соединений при температурах испытаний ~2000° С не превышают 2—6 кгс/мм².

Исследование большого числа тугоплавких припоев показало, что для пайки в качестве припоев могут быть использованы системы сплавов: Ti—Nb, Ti—Nb—Cr, Ti—Mo, Ti—Mo—Cr, Ti—Mo—Zr, Nb—Zr, Nb—Zr—Cr, Mo—Cr, Nb—V, Nb—V—Zr, Ti—Ta, Ta—Zr, Nb—Cr и др. В этих системах большая часть припоев — твердые растворы, оказывающие небольшое влияние на охрупчивание паяемых металлов, но имеющие более высокие температуры плавления и довольно широкий интервал кристаллизации. Припои эвтектического состава (сплавы Ta—Zr, Nb—Cr) часто позволяют снизить температуру пайки при той же рабочей температуре соединений.

Припои титан—ниобий, содержащие от 20 до 40% Ti — пластичные и могут быть получены в виде фольги; при содержании титана более 40% пластичность их снижается. Введение в их состав до 10—15% Cr позволяет снизить температуру плавления припоев и повысить пластичность. Припои титан—молибден, содержащие 15—45% Ti, имеют температуру плавления 1850—2000° С; введение хрома и циркония в эти припои снижает температуру их плавления.

Припои, содержащие ванадий и цирконий в твердых растворах Nb—V и Nb—Zr, обладают лучшим смачиванием и затеканием в зазоры.

Из стандартных припоев-сплавов для пайки тугоплавких металлов нашел применение сплав ЦН-25 (цирконий—ниобий) с температурой пайки 1850° С.

При пайке вольфрама припоем платина — бор с добавками порошка вольфрама в результате диффузии образуется сплав, работающий при температуре 2000° С.

Для пайки узлов и изделий из молибдена, вольфрама и ниобия, работающих на воздухе при температурах до 1600° С и имеющих защитные покрытия при выборе припоя, необходимо учитывать особенности взаимодействия припоя с элементами, входящими в состав защитного покрытия.

ПАЙКА МЕДИ И ЕЕ СПЛАВОВ

Особенности пайки меди и ее сплавов определяются теплофизическими свойствами меди, составом сплавов, температурой их плавления и свойствами окисных пленок. Трудность пайки меди и ее сплавов в значительной степени определяется высокой теплопроводностью меди и сложностью нагрева деталей, имеющих большую массу. Пайка медных сплавов дополнительно осложняется выбором припоев, имеющих температуру плавления ниже температуры плавления сплавов, а также обеспечением смачивания припоями поверхности при наличии сложных окисных пленок, в состав которых могут входить прочные окислы Al_2O_3, BeO, Cr_2O_3 и др.

Для пайки этих материалов могут быть использованы различные группы припоев: оловянно-свинцовые, свинцовые, кадмиевые, серебряные, медно-цинковые, медно-фосфорные и др.

Нагрев при низкотемпературной пайке в зависимости от массы деталей осуществляют с помощью паяльников, газовых горелок, кварцевых ламп, погружением в ванны с расплавленным припоем и другими методами. Нагрев при высокотемпературной пайке осуществляют в печах: воздушных, вакуумных, с восстановительной средой водорода, диссоциированного аммиака или нейтральной газовой средой. Используют также нагрев в соляных ваннах, газовыми горелками, ТВЧ, электроконтактным методом и др.

Медь промышленных марок М0, М1, М2, М3, М4, отличающихся содержанием примесей, имеет температуру плавления, близкую к 1083° С. При нагреве ниже 375° С на поверхности меди образуется окисел CuO, а при нагреве выше 375° С окислы CuO и Cu_2O, легко удаляемые при пайке. В связи с этим низкотемпературная пайка меди не представляет больших трудностей даже при применении малоактивных канифолевых флюсов, не вызывающих коррозии паяных соединений. Однако во многих случаях при пайке сложных конструкций из меди применяют активные флюсы ЛТИ-1, ЛТИ-120, ЛК-2, хлористый цинк и др. После пайки с активными флюсами изделия тщательно промывают.

На практике для облегчения процесса пайки применяют предварительное облуживание деталей. На медные детали, подлежащие пайке, наносят тонкие слои полуды электролитическим и гальваническим методами или погружением в ванны с расплавленным припоем.

Пайку меди свинцовыми припоями ПСр 3, ПСр 2, ВПР12 и другими при температурах 300—350° С и кадмиевыми припоями ПСр Кд, ПСр 5КЦН, ПСр 8КЦН при температурах 325—370° С проводят с применением активных флюсов ФК-30 и др. Кадмиевые припои не технологичны, отличаются плохой смачиваемостью и трудностью заполнения зазоров.

Находит применение низкотемпературная диффузионная пайка меди. Этот процесс осуществляют легкоплавкими припоями — оловом, свинцом, индием, сплавами олово—свинец путем нагрева соединяемых деталей под небольшим давлением в нейтральной газовой среде или вакууме при температурах 650—800° С и длительной выдержке. Для высокотемпературной пайки меди применяют серебряные, медно-цинковые и медно-фосфорные припои.

При пайке на воздухе серебряными и медно-цинковыми припоями используют флюсы на основе буры, борного ангидрида с добавками фторидов. При применении медно-фосфорных припоев флюс не требуется.

В среде водорода рекомендуется паять медь, не загрязненную кислородом из-за опасности «водородной болезни» меди. Для того чтобы ограничить растворение меди в медно-фосфорных и серебряных припоях, рекомендуется ускоренный нагрев и сокращение выдержки при температуре пайки.

Для некоторых изделий из меди (медные шины, волноводы, пластинчатые теплообменники) нашел применение процесс пайки с помощью контактного плавления в системе серебро—медь (контактно-реактивная пайка). На соединяемые поверхности деталей наносят слой серебра толщиной 10—15 мкм. Детали нагревают до температуры, превышающей температуру образования эвтектики серебро—медь (800—850° С). Пайку осуществляют в нейтральной газовой среде в приспособлениях, обеспечивающих поджатие деталей при нагреве.

Латуни содержат 4—38% Zn, имеют температуру плавления 905—1070° С. Состав окисной пленки, образующейся на латунях, зависит от содержания цинка в сплаве; при содержании до 15% Zn окисная пленка состоит из окисла Cu_2O; при содержании свыше 20% Zn — в основном из ZnO.

Смачивание латуней при пайке оловянно-свинцовыми припоями достигается только с применением активных флюсов (ЛТИ-120, ЛК-2, хлористого цинка и др.). Рекомендуется также предварительное облуживание латунных деталей перед пайкой.

Для латуней можно применять процесс низкотемпературной диффузионной пайки оловом с нагревом в нейтральной газовой среде при температурах 670—700° С. Для высокотемпературной пайки латуней применяют медно-фосфорные, серебряные и медно-цинковые припои с наиболее низкими температурами плавления, например припои ПМЦ 48, ПМЦ 54. При пайке на воздухе указанными припоями используют флюсы на основе буры и борного ангидрида с добавками фторидов.

Наибольшую трудность в обеспечении смачивания представляют латуни, содержащие свинец (ЛС59-1, ЛС63-3). Для того чтобы уменьшить испарение цинка с поверхности и ограничить растворение латуней в серебряных и медно-фосфорных припоях, применяют большие скорости нагрева под пайку. С этой целью нагрев проводят ТВЧ, в соляных ваннах, источниками света и другими методами. Соляные ванны, обеспечивая большую скорость и равномерность нагрева, позволяют выдержать высокую точность температуры при пайке.

Вследствие испарения цинка пайку латуней в воздушных печах и печах с восстановительной средой используют ограниченно, а в вакуумных печах — не производят вообще. Для защиты деталей от испарения цинка перед пайкой на их поверхность наносят медное покрытие. Для уменьшения испарения цинка при пайке газовой горелкой нагрев рекомендуется вести восстановительным пламенем.

Оловянистые бронзы (БрОФ10-1, БрОФ6,5-0,4; БрОЦ-4-3) кроме олова содержат фосфор или цинк; температура плавления их находится в пределах 995—1050° С.

Алюминиевые бронзы содержат от 5 до 12% Al и плавятся при температурах около 1050° С. В состав окисной пленки на их поверхности входит окись алюминия.

Хромистые бронзы (БрХ0,5; БрХ0,8) содержат небольшие добавки хрома, упрочняющие медь. Температура плавления этих сплавов 1084—1090° С. Окисная пленка на поверхности хромистой бронзы содержит некоторое количество Cr_2O_3.

Бериллиевые бронзы (БрБ2 и др.) содержат 2—2,5% Be и плавятся при температурах 866—955° С. Большое сродство бериллия к кислороду вызывает его окисление и появление на поверхности химически стойкой окисной пленки BeO.

Наибольшую трудность при пайке представляют алюминиевые, бериллиевые и хромистые бронзы. При низкотемпературной пайке указанных материалов применяют активные флюсы (ЛК-2, хлористый цинк, хлористый цинк с избыточной соляной кислотой и др.). При высокотемпературной пайке в флюсы на основе буры и борного ангидрида вводят фтористые и хлористые соединения. При пайке алюминиевой бронзы рекомендуется применять серебряные припои с никелем для предотвращения нежелательного перехода в припой алюминия. Применение медно-цинковых припоев при пайке бронз ограничено их высокой температурой плавления.

КОНСТРУИРОВАНИЕ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Для получения прочных паяных соединений необходимо правильно конструировать соединяемые детали, обеспечивать нужный зазор, допустимую величину нахлестки, легкую укладку припоя и его фиксацию и т. д.

Типовые паяные соединения с обозначениями по ГОСТ 19249—73 приведены в табл. 12. Наиболее распространенным типом соединений является соединение внахлестку. Швы, паяные внахлестку, обеспечивают наибольшую прочность соединений. Равнопрочность таких швов с основным металлом достигается изменением длины нахлестки

$$l = \frac{F\,[\sigma]_р}{b\,[\tau']_{ср}},$$

где $[\sigma]_р$ — допускаемое напряжение паяного шва при растяжении; F — площадь поперечного сечения паяемого элемента; $[\tau']_{ср}$ — допускаемое напряжение при срезе паяных внахлестку швов; b — ширина соединяемых элементов.

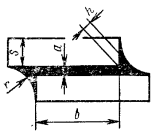
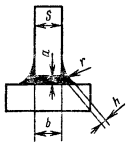
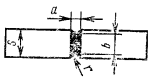
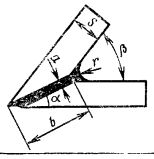
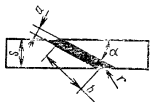
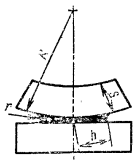
Практически длина нахлестки равна трем-пяти толщинам соединяемых деталей.

При пайке высокотемпературными припоями рекомендуется уменьшать длину нахлестки до трех толщин соединяемых деталей, а при пайке низкотемпературными припоями — увеличивать до пяти толщин вследствие малой прочности припоя. Увеличивать длину нахлестки сверх этих пределов нецелесообразно, так как распределение касательных напряжений по длине нахлестки неравномерно. Они возрастают лишь в галтельных участках шва, средняя часть нахлестки менее нагружена, и, кроме того, увеличивается масса паяемых узлов и изделий.

Детали, паянные внахлестку, не требуют дополнительных подгоночных операций, соединения удобны при выполнении; фиксация деталей при пайке внахлестку во многих случаях выполняется с помощью точечной электросварки (ТЭС).

Примеры соединений плоских элементов внахлестку и их разновидностей приведены на рис. 6. Соединения в ус, вскос, в виде гребенки увеличивают прочность за счет увеличения длины нахлестки. Для равномерного приложения нагрузки и увеличения прочности применяют соединения с двойной нахлесткой. Стыковые и тавровые соединения используют редко; они не характерны для паяных соединений. Применять эти соединения целесообразно в случаях, когда

12. Типовые паяные соединения

Соединение	Эскизы конструктивных элементов паяных швов	Соединение	Эскизы конструктивных элементов паяных швов
Внахлестку, телескопическое		Втавр	
Встык		В угол	
Вскос		Соприкасающееся	

Примечание. S — толщина основного материала; a — толщина шва; b — ширина шва; r — радиус галтели; h — высота галтели; α — угол скоса; β — угол соединения деталей; R — радиус кривизны паяемой детали.

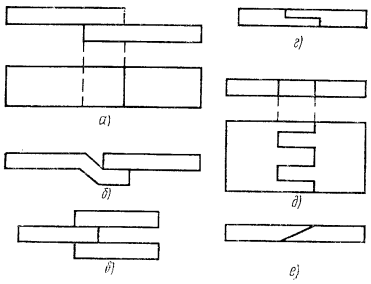


Рис. 6. Примеры соединений плоских элементов:
а и *б* — внахлестку; *в* — двойная нахлестка; *г* — ступенчатое; *д* — в виде гребенки; *е* — вскос

припой и способ пайки обеспечивают заданную прочность паяных соединений и в случаях, когда конструкции не могут быть выполнены иначе, например сотовые панели, втулки и бобышки с ответными деталями, трубы и др (рис. 7).

Прочность стыковых паяных соединений определяется прочностью мягкой прослойки припоя и зон взаимодействия припоя с паяемым металлом.

Особенности паяных соединений встык следующие: предел текучести паяного шва (мягкая прослойка) меньше предела текучести основного металла соединяемых деталей; модуль упругости паяного шва E' меньше модуля упругости основного металла E.

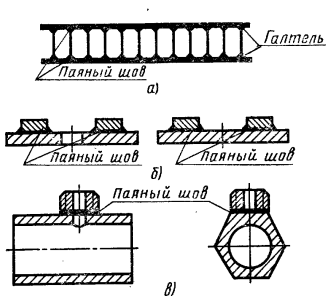


Рис. 7. Примеры соединений, паяных втавр и встык:
а — сотовой панели; *б* — бобышек к пластинам; *в* — резьбовой втулки

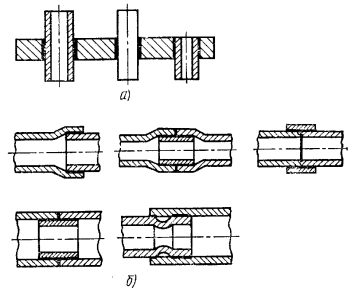


Рис. 8. Примеры телескопических соединений:
а — пайка трубок в трубные доски; *б* — телескопические соединения

Наибольшие напряжения возникают в прослойке на контактных поверхностях, где имеет место образование зон диффузии припоя и основного металла, как правило, с повышенной прочностью и меньшей пластичностью.

Текучесть на контактных площадках возможна лишь при больших продольных осевых напряжениях [10]. При всех значениях модуля упругости паяного шва $E' \neq E$ мягкие прослойки при пайке встык разрушаются хрупко.

Паяные втавр швы редко работают на растяжение, чаще — на срез в конструкциях, испытывающих изгибающие усилия.

Напряжение среза в швах

$$\tau = \frac{QS}{J\delta},$$

где Q — поперечная сила в элементе, испытывающем поперечный изгиб; S — статический момент площади пояса относительно центра тяжести сечения; J — момент инерции всего сечения; δ — толщина вертикального листа, равная протяженности шва.

Телескопические соединения применяют для пайки трубчатых и стержневых конструкций. В таких соединениях длина нахлестки определяется при растягивающих усилиях из соотношения

$$l = \frac{[\sigma]_p f}{2\pi R [\tau']_{cp}},$$

где R — радиус трубы.

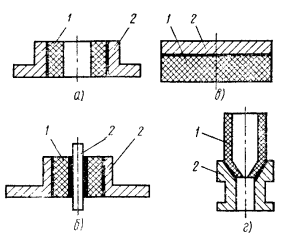


Рис. 9. Типы соединений керамики с металлом:

а — охватывающее или телескопическое; *б* — двойное телескопическое; *в* — плоское или торцовое; *г* — коническое; *1* — керамическая деталь; *2* — металлическая деталь

13. Внутренние напряжения, возникающие в телескопическом соединении керамики с металлом

Виды напряжения	Металл снаружи		Металл внутри	
	Металл	Керамика	Металл	Керамика
Осевые	$\frac{Р}{С}$	$\frac{С}{Р}$	$\frac{Р}{С}$	$\frac{С}{Р}$
Тангенциальные	$\frac{Р}{С}$	$\frac{С}{Р}$	$\frac{Р}{С}$	$\frac{С}{Р}$
Радиальные	$\frac{С}{Р}$	$\frac{С}{Р}$	$\frac{Р}{С}$	$\frac{Р}{С}$

Примечания: 1. *Р* — напряжение растяжения; *С* — напряжение сжатия. 2. В числителе приведены данные при КТР металла >КТР керамики; в знаменателе — при КТР металла <КТР керамики.

Наибольшее применение нашли телескопические соединения при пайке теплообменников и трубопроводов. Некоторые виды телескопических соединений показаны на рис. 8.

Для обеспечения равномерного зазора в телескопических соединениях используют посадочные буртики с точной фиксацией трубы, развальцовку, муфты с малым коэффициентом расширения, по сравнению с коэффициентом расширения паяемой трубы.

При пайке резьбовых соединений возникает задача заполнения припоем зазоров, создаваемых при закручивании резьбы. Заполнение припоем неравномерных зазоров в резьбовых соединениях — сложная технологическая задача. Обычные способы пайки резьбовых соединений приводят к получению непропаев и других дефектов.

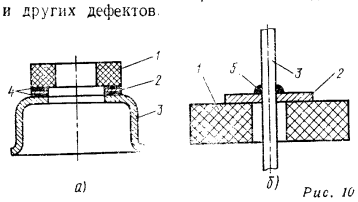


Рис. 10

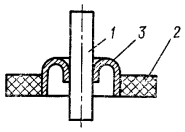


Рис. 11

Рис. 10. Примеры использования в несогласованных спаях промежуточных элементов, согласованных по КТР с керамикой (активная пайка через промежуточный элемент — титан):

1 — керамика; *2* — титановый переход; *3* — ковар; *4* — медное покрытие на титане; *5* — припой

Рис. 11. Примеры использования гибких промежуточных элементов (переходов) в спаях керамики с металлом при значительной разнице КТР керамики и металла:

1 — металл; *2* — керамика; *3* — гибкий переход

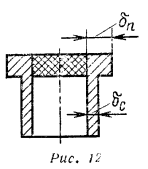


Рис. 12

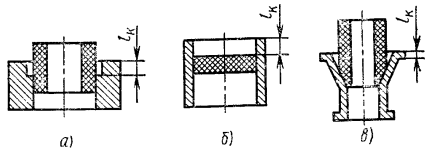


Рис. 13

Рис. 12. Рекомендуемые степени утолщения металлической охватывающей детали для компенсации изгибающего действия ее свободного конца:

Материал детали	Титан	Сталь	Ковар
$\delta_п/\delta_с$	1,5	2,0	1,2

Рис. 13. Схемы соединений с компенсирующим выступом:

а — соединение цилиндрических деталей; *б* — соединение цилиндра с фланцем; *в* — коническое соединение; $l_к$ — длина компенсирующего выступа, равная 1,5—4 мм для соединений диаметром до 100 мм

Для качественного заполнения резьбовых соединений припоем рекомендуется применять способ принудительного заполнения резьбы припоем за счет давления на зеркало ванны расплавленного припоя.

При конструировании паяных соединений из разнородных материалов (керамики с металлом) необходимо учитывать различие физико-механических свойств соединяемых материалов и сравнительно низкую механическую прочность керамики, особенно при действии растягивающих напряжений. Основные типы соединений керамики с металлом показаны на рис. 9.

Различают согласованные спаи керамики и металла, когда их коэффициенты линейного теплового расширения близки, и несогласованные спаи с заметно различающимися коэффициентами линейного теплового расширения (КТР).

Внутренние напряжения, возникающие в телескопическом соединении керамики с металлом, в зависимости от коэффициента линейного теплового расширения, приведены в табл. 13.

Напряженное состояние, возникающее в плоском или торцовом спае, приводит к разрушению под действием напряжений в плоскости спая и напряжений, нормальных к ней.

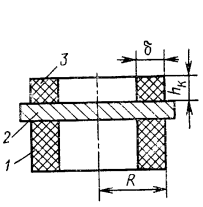


Рис. 14

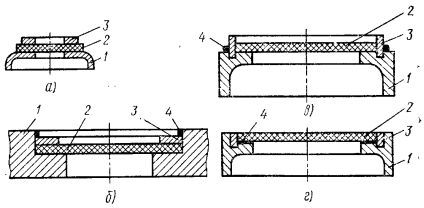


Рис. 15

Рис. 14. Схема торцового соединения с компенсатором ($h_к \approx 0{,}45\sqrt{\delta R}$):

1 — керамика; *2* — металл; *3* — компенсатор из металла или керамики, согласованный по КТР с керамикой

Рис. 15. Варианты использования компенсаторов в торцовых спаях:

а, *б* — компенсатор в виде шайбы установлен непосредственно на деталь из керамики; *в*, *г* — компенсатор в виде кольца установлен в металлическую деталь; *1* — металл; *2* — керамика; *3* — металлический компенсатор; *4* — припой

Для снижения опасных внутренних напряжений и получения надежных соединений рекомендуется: а) подбирать согласованные по коэффициенту линейного теплового расширения материалы (согласованные спаи, рис. 10, *а*); б) использовать для несогласованных спаев промежуточные конструктивные элементы, согласованные по коэффициенту линейного теплового расширения с керамикой (рис. 10, *б*); в) вводить гибкие промежуточные элементы, как показано на рис. 11; г) уменьшать толщину металлической детали в зоне пайки (обычно толщину выбирают не более 0,5 мм); д) увеличивать толщину охватывающей металлической детали в зоне пайки для телескопического соединения (рис. 12, КТР металла $>$ $>$ КТР керамики); е) применять компенсирующий выступ со стороны, противоположной свободному концу металлической детали (рис. 13); ж) увеличивать длину нахлестки при плоских или торцовых соединениях; з) вводить компенсатор (рис. 14), высота которого в первом приближении $h_к \approx 0{,}45\sqrt{\delta R}$, где δ — толщина керамической детали; R — радиус соединения.

Компенсатор может быть изготовлен из того же материала, что и противоположная деталь, или из другого материала, но с близким значением коэффициента линейного теплового расширения. На рис. 15 показаны варианты конструкции соединения с компенсатором.

Варианты спаев с компенсатором (рис. 15, *в*, *г*) позволяют шлифовать плоскость спая, обеспечивая точную укладку керамической детали по плоскости соединения [9].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бондарев В. В., Никифорова З. В., Баньковская И. В.** Пайка титана с применением медного гальванопокрытия. — Сварочное производство, 1964, № 9, с. 16—17.
2. **Гельман А. С.** Основы сварки давлением. М., Машиностроение, 1970. 300 с.
3. **Губин А. И.** Пайка нержавеющих сталей и жаропрочных сплавов. М., Машиностроение, 1964, 126 с.
4. **Долгов Ю. С., Сидохин Ю. Ф.** Вопросы формирования паяного шва. М., Машиностроение, 1974. 134 с.
5. **Кофстад П.** Высокотемпературное окисление металлов. Перевод с англ. М., Мир, 1969. 392 с.
6. **Найдич Ю. В., Колесниченко Г. А.** Взаимодействие металлических расплавов с поверхностью алмаза и графита. Киев, Наукова думка, 1967, 89 с.
7. **Никифорова З. В., Нестеров Б. М.** Пайка жаропрочных сплавов припоями на основе палладия. — Сварочное производство, 1970, № 5, с. 36—38.
8. **Никифорова З. В.** О растекании припоя при обслуживании молибдена и вольфрама — Сварочное производство, 1976, № 9, с. 30—31.
9. **Никифорова З. В., Румянцев С. Г., Киселевский С. Л., Евдокимов В. И.** Пайка сапфировых мембран с высокопрочными сплавами титана. — Сварочное производство, 1974, № 3, с. 35—36.
10. **Николаев Г. А., Киселев А. И.** Работа мягкой прослойки паяных соединений. — Сварочное производство, 1969, № 12, с. 3—4.
11. **Рыльников В. С., Губин А. И.** Пайка титана серебряными припоями. — Сварочное производство, 1970, № 1, с. 32—34.
12. **Сланский А., Волман Я.** Капиллярная пайка/Под ред. Никифоровой З. В. М., Машгиз, 1963. 198 с.
13. **Справочник** по пайке. М., Машиностроение, 1975. 407 с.
14. **Суслов А. А.** Высокотемпературная бесфлюсовая пайка алюминиевых сплавов в вакууме. Производство паяных конструкций и стандартизация технологических процессов пайки. М. Труды ВНИИНмаш, 1975, вып. 21.
15. **Хлудов Е. А., Каракозов Э. С., Смирнов Г. Н.** Бесфлюсовая пайка алюминия и его сплавов низкотемпературными припоями, легированными галлием — Сварочное производство, 1976, № 9, с. 31—33.
16. **Хряпин В. Е., Лакедемонский А. В.** Справочник паяльщика. М., Машиностроение, 1974. 326 с.
17. **Чуларис А. А., Будник Н. М.** Исследование контактного плавления в системе медь—марганец. — Сварочное производство, 1970, № 1, с. 9—11.

Глава 13

СВАРОЧНЫЕ ДЕФЕКТЫ И МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И КОНСТРУКТИВНЫЕ ФАКТОРЫ КАЧЕСТВА СВАРКИ

Качество продукции согласно ГОСТ 15467—79 есть совокупность свойств продукции, обусловливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением. Показатели качества сварных соединений определяют путем их контроля как совокупность ряда свойств, таких, как надежность, степень работоспособности, прочность, структура металла шва и околошовной зоны, коррозионная стойкость, отсутствие дефектов, число и характер исправлений и т. п. (рис. 1).

Контроль качества продукции согласно упомянутому ГОСТу определяется как проверка соответствия показателей качества продукции установленным требованиям. Более общим термином *управление качеством* определено обеспечение необходимого уровня качества продукции. Управление качеством реализуют, как правило, с использованием математико-статистических методов (см. гл. 18). При этом необходим контроль факторов, от которых зависит качество продукции. Основные из них можно условно сгруппировать как технологические и конструктивные (рис. 2).

Этапы организации контроля в сварочном производстве (рис. 3) должны включать последовательно все стадии:

1) контроль документации на стадии проекта — выбор конструкции соединений и технологии сборки—сварки; выбор основного металла, обоснование норм допустимых дефектов и плана контроля; выбор метода контроля и обеспечение дефектоскопичности конструкций и т. д.;

2) контроль конструктивно-технологических факторов — проверка подготовки производства, условий, качества и точности заготовки—сборки, подготовки и хранения исходных материалов, паспортизации и дисциплины сварщиков, режимов сварки, аппаратуры и т. п.;

3) контроль продукции — рациональное использование разрушающих и неразрушающих методов контроля. Наряду с контролем сварных соединений как

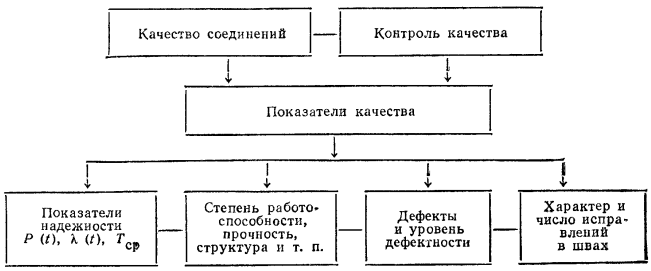


Рис. 1. Показатели качества сварных соединений

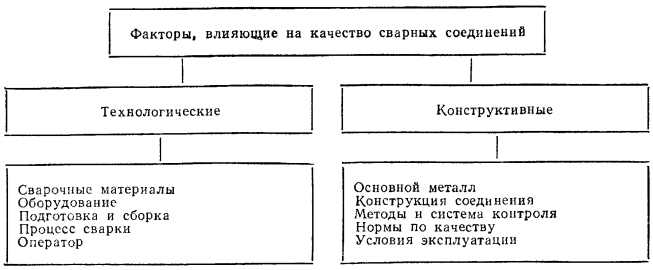


Рис. 2. Факторы качества сварных соединений

готовой продукции необходим пооперационный контроль отдельных швов — полуфабрикатов.

На всех стадиях технологии необходима проверка качества самих контрольных операций: метрологическая проверка приборов, контроль соблюдения режимов, чувствительности и достоверности дефектоскопии, дефектоскопических материалов, квалификации и состояния операторов и т. п.

Высокое качество соединений зависит в первую очередь от уровня и состояния технологического процесса производства. Обнаружение дефектов служит сигналом не только к отбраковке продукции, но и к оперативной корректировке технологии. Основное воздействие контроль должен оказывать именно на технологию производства, обеспечивая за счет оперативной обратной связи предупреждение дефектов и брака продукции.

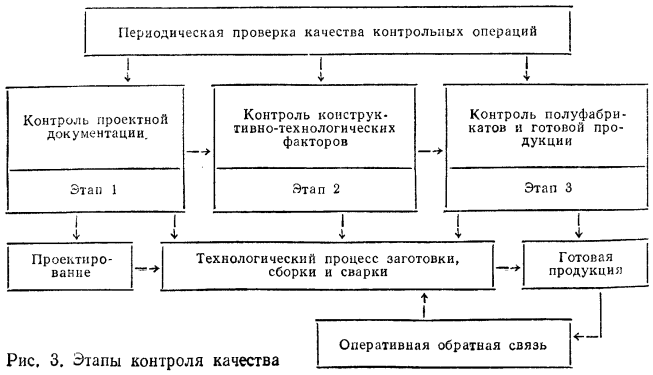


Рис. 3. Этапы контроля качества

ДЕФЕКТЫ И УРОВЕНЬ ДЕФЕКТНОСТИ

Классификация. В соответствии с ГОСТ 15467—79 термин дефект определяют как каждое отдельное несоответствие продукции требованиям, установленным нормативной документацией. Однако в практике контроля наряду с этим распространено и более широкое понятие о дефектах, как несплошностях или порок — допустимых и недопустимых.

По стадии появления пороков в цепочке технологических операций различают дефекты подготовки (и сборки) изделий под сварку и сварочные дефекты. Дефекты подготовки и сборки часто приводят к появлению собственно сварочных дефектов, поэтому подготовку изделий к сварке необходимо особо тщательно контролировать.

Наиболее характерные дефекты подготовки и сборки: неправильный угол скоса кромок в швах при сварке плавлением с V-, U- и X-образной разделкой; неравномерное притупление по длине кромок или непостоянство зазора между ними; несовпадение стыкуемых плоскостей; расслоения и загрязнения на кромках и т. п.

Причинами подобных дефектов могут быть неисправности станков для изготовления заготовок и приспособлений для сборки, недоброкачественность исходных материалов, ошибки в чертежах, а также низкая квалификация или культура труда работников. Правильность подготовки и сборки контролируют внешним осмотром и измерением с помощью специальных шаблонов и инструментов.

Сварочные дефекты-несплошности различают по их типам и видам. Кроме несплошностей в сварных соединениях могут иметь место макро- и микронеоднородности и другие несовершенства структуры.

Классификация по типам дефектов связана с их геометрическими признаками и массовостью (рис. 4). Вид дефектов обозначают, исходя из их природы. Тип дефекта может быть определен практически любым методом контроля (см. табл. 3, 4). Вид дефекта удается определить не всегда. Наиболее информативна в этом отношении радиография. Для соединений, выполненных сваркой плавлением, согласно ГОСТ 23055—78 установлено шесть видов дефектов (табл. 1).

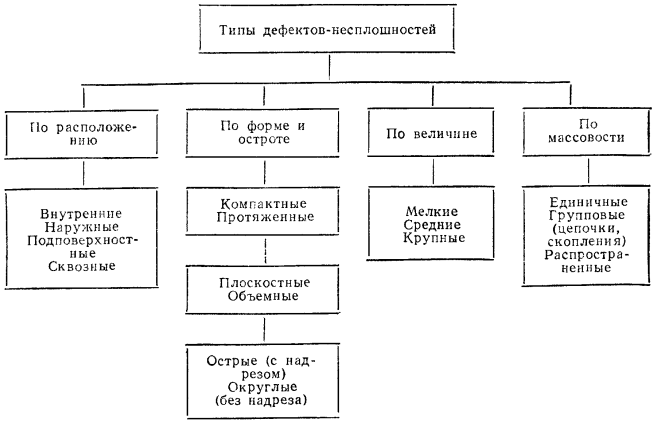
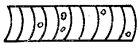
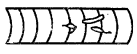
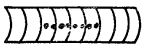
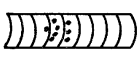


Рис. 4. Типы сварочных дефектов-несплошностей

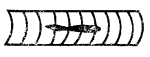
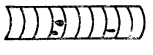
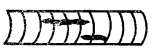
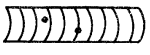
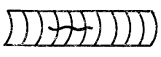
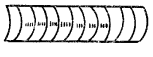
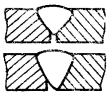
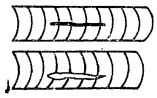
1. Классификация и запись дефектов при расшифровке радиограмм по ГОСТ 23055—78

Вид дефекта	Условное обозначение		Характер дефекта	Условное обозначение	
	Русский алфавит	Латинский алфавит		Русский алфавит	Латинский алфавит
Трещины	*Т*	*Е*	Трещина:		
			вдоль шва	Тв	Ea
			поперек шва	Тп	Eb
			разветвленная	Тр	Ec
Непровары	*Н*	*D*	Непровар:		
			в корне	Нк	Da
			между валиками	Нв	Db
			по разделке	Нр	Dc
Поры	*П*	*А*	Отдельная пора	П	Aa
			Цепочка	ЦП	Ab
			Скопление	СП	Ac
Шлаковые включения	*Ш*	*В*	Отдельное включение	Ш	Ba
			Цепочка	ЦШ	Bb
			Скопление	СШ	Bc
Вольфрамовые включения	*В*	*С*	Отдельное включение	В	Ca
			Цепочка	ЦВ	Cb
			Скопление	СВ	Cc
Окисные включения	*О*	*О*	—	—	—

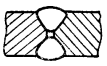
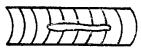
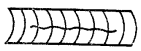
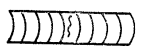
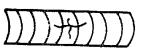
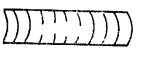
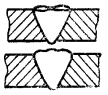
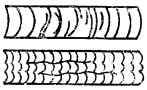
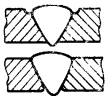
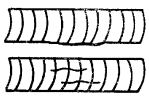
2. Обозначение и наименование дефектов

Обозначение дефекта	Наименование дефекта	Схематическое изображение дефекта		Примечание
		по сечению соединения	по радиограмме	
Aa	Группа А — поры (газовые включения) Пора сферическая			—
Ab	Пора канальная			Длина больше трехкратной максимальной ширины. Главный размер направлен в глубину шва
Ac	Цепь пор			Минимум четыре поры в ряду или в группе на расстоянии, не превышающем трехкратного диаметра наибольшей поры
Ad	Группа пор			

Продолжение табл. 2

Обозначение дефекта	Наименование дефекта	Схематическое изображение дефекта		Примечание
		по сечению соединения	по радиограмме	
Ae	Пора линейная (протяженная)			Длина больше трехкратной максимальной ширины. Главный размер вдоль оси шва
Ba	Группа В — твердые включения Шлак компактный			—
Bb	Шлак линейный (протяженный)			Длина больше трехкратной максимальной ширины
Bc	Включение металлическое			—
C	Группа С — несплавления			*R* — направление облучения
	Несплавление			—
Da	Группа D — непровары Непровар в корне одностороннего шва без подреза			—
Db	Непровар в корне одностороннего шва с подрезом			—

Продолжение табл. 2

Обозначение дефекта	Наименование дефекта	Схематическое изображение дефекта		Примечание
		по сечению соединения	по радиограмме	
Dc	Непровар двустороннего шва			—
Ea	Группа E — трещины Трещина продольная			—
Eb	Трещина поперечная			—
Ec	Трещина радиальная			—
Fa	Группа F — неправильная форма и прочие дефекты Чрезмерный провар корня			—
Fb	Неровности шва			—
Fc	Подрезы			—

Дефекты, определяемые с помощью радиографического контроля, обозначают двумя буквами: первая — указывает вид дефекта, вторая — подробный род или характер дефекта (табл. 2). Подобные обозначения приняты также в документах стран СЭВ и Международного института сварки (МИС). В некоторых документах МИСа рекомендовано четырехцифровое обозначение дефектов. Однако пока цифровая индексация не общепринята. Она удобна для обработки информации на ЭЦВМ, но не дает наглядности при обычном анализе результатов контроля.

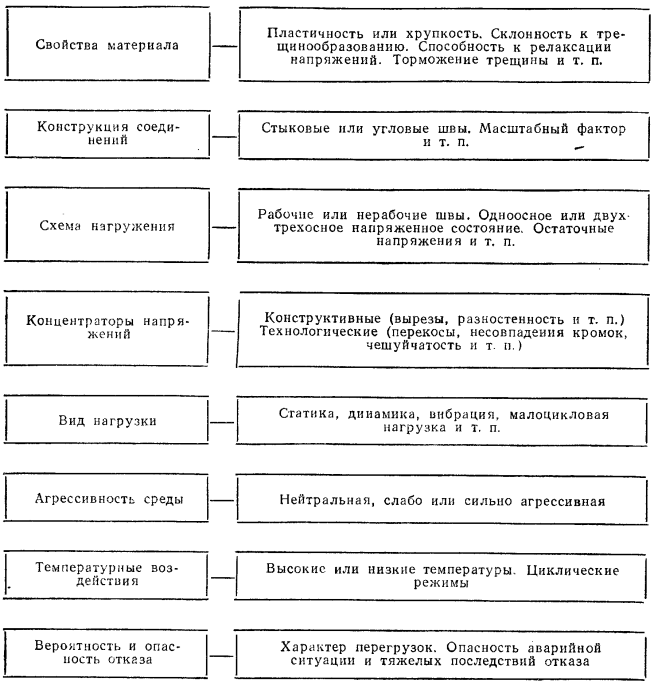


Рис. 5. Основные конструктивно-эксплуатационные факторы опасности сварочных дефектов

Влияние дефектов на работоспособность. Наличие тех или иных дефектов в сварных соединениях еще не определяет потерю работоспособности этих соединений. Опасность дефектов, наряду с влиянием собственных характеристик несплошностей (типы, виды, размеры и т. п.), зависит от большого числа конструктивных и эксплуатационных факторов (рис. 5) [3]. Разделить принадлежность отдельных факторов к конструктивным или эксплуатационным трудно, поэтому в дальнейшем их следует называть конструктивно-эксплуатационными.

Ниже, без детального обсуждения, приведены некоторые типовые примеры оценки влияния дефектов по результатам многочисленных отечественных и зарубежных исследований. Показано, что при статической нагрузке и пластичном материале (рис. 6, кривые *1*, *2*, *4*) влияние величины непровара на потерю прочности примерно пропорционально относительной глубине этого непровара или его площади [4, 5].

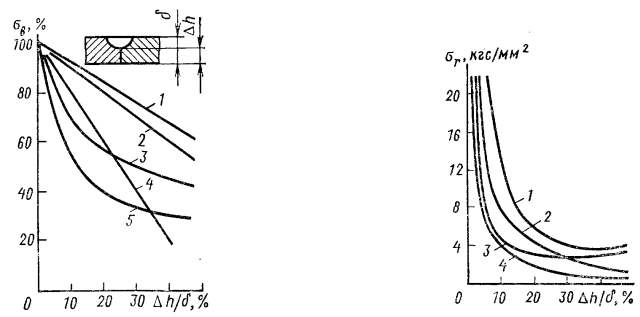


Рис. 6. Влияние относительной глубины $\Delta h/\delta$ непровара корня шва на статическую прочность стыковых соединений без усиления:
1 — сталь Ст3; *2* — 12Х18Н9Т; *3* — 25ХГСА; *4* — 30ХГСН2А; *5* — сплав Д16Т

Рис. 7. Влияние относительной величины $\Delta h/\delta$ дефектов на усталостную прочность стыковых сварных соединений малоуглеродистой стали. Швы без усиления:
1 — подрезы; *2* — поры; *3* — непровар корня шва; *4* — шлаки. Число циклов $3{,}2 \cdot 10^5$, $r = 0$ (симметричный цикл)

При малопластичном материале (рис. 6, кривые *3*, *5*), а также при динамической или вибрационной нагрузках (рис. 7 и 8) линейная пропорциональность между потерей работоспособности и величиной дефекта может нарушаться и сравнительно небольшие дефекты существенно влияют на прочность.

Обобщение исследований позволяет считать, что дефекты включения (поры, шлаки) при их относительной суммарной площади в сечении шва до 5—10% практически мало влияют на статическую прочность соединений (рис. 9). По отдельным видам соединений безопасная величина ослабления сечения стыкового шва дефектами при статической нагрузке может достигать 10, 20 и даже 30%. Особенно это относится к пластичным сталям и сравнительно малонагруженным соединениям.

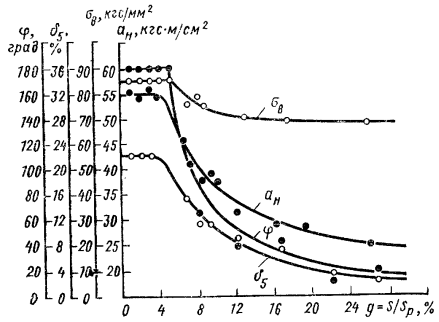


Рис. 8. Влияние относительной площади дефектов — пор на механические свойства стыковых соединений легированной стали ($\sigma_в$ = 85 кгс/мм², после закалки и отпуска). Швы с усилением:
$\sigma_в$ — статическая прочность; δ_5 — относительное удлинение на базе 50 мм; $a_н$ — ударная вязкость; φ — угол загиба

Если швы имеют концентраторы в виде резкого усиления или несовпадения кромок, то включения площадью 5—10% сечения шва не оказывают влияния также и на усталостную прочность стыковых соединений. В то же время остаточные напряжения могут существенно повышать опасность дефектов-включений при усталостных нагрузках [6].

Для альтернативной оценки опасности сварочных дефектов при дефектоскопии соединений целесообразно разделить дефекты-несплошности на две группы: объемные (тупые) и трещиноподобные (острые).

Объемные дефекты сравнительно безопасны в отношении потери работоспособности соединений. Эти дефекты (поры, шлаки, включения, непровары без надреза) можно нормировать по размерам или по площади ослабления ими сечения шва. Согласно терминам ГОСТ 15467—79 такие дефекты следует относить к малозначительным (или значительным).

Трещиноподобные дефекты весьма опасны для эксплуатации соединений. Эти дефекты (трещины, непровары и включения с надрезом), как правило, недопустимы. Согласно терминам ГОСТ 15467—79 трещиноподобные сварочные дефекты следует считать критическими.

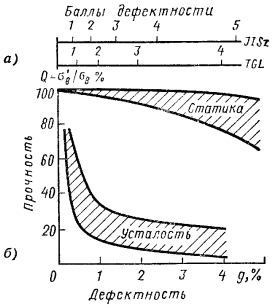


Рис. 9. Зависимость относительной прочности сварных стыковых швов от пористости:
а — по баллам дефектности — данные Ватанабе и др.; *б* — по относительной площади дефектов — данные У. Дитрих

Оценка уровня дефектности. Анализ влияния дефектов на работоспособность соединений показывает, что опасность дефектов зависит от их типа, определяемого геометрическими признаками, их вида, определяемого технологическими признаками, а также от указанных на рис. 5 внешних конструктивно-эксплуатационных факторов. Перечисленные признаки и факторы детерминированы, т. е. относятся к определенным дефектам, конкретным конструкциям и технологическим процессам. Эти детерминированные характеристики необходимы в первую очередь для приближенной оценки опасности дефектов в эксплуатационном аспекте, который иногда называют дефектологическим.

Однако, как показано подробнее в гл. 18, эксплуатационный подход нельзя считать единственным при решении вопроса о нормах дефектности. Следует учитывать технологический, квалиметрический и экономический аспекты. Последние связаны с оценкой уровня *засоренности* продукции дефектами, т. е. со статистическими показателями *дефектности*. К ним относятся: $q = \frac{M}{N}$ — доля дефектных элементов M в партии N; $Б = \frac{M_Б}{N}$ — доля брака в партии или доля исправленных элементов $M_Б$ с недопустимыми дефектами; $g = \frac{\sum \Delta S}{S_Р}$ — суммарная площадь дефектов ΔS в расчетном сечении $S_Р$ шва.

При установившемся стабильном технологическом процессе появление дефектов, как правило, можно считать случайными событиями, для которых справедливы определенные вероятностные модели-распределения: Пуассона — для числа дефектов; экспонента или закон Вейбулла — для размеров дефектов и т. п. Причем средние для партии значения $\overline{X}$ и дисперсии σ^2 показателей q, Б, g обладают свойством устойчивости. Засоренность выборки — приемочное

число C и выборочное среднее $\bar{x}$ — свойством устойчивости не обладают. Статистические показатели отражают уровень технологии и необходимы для управления качеством сварки.

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА

Разрушающие методы. По воздействию на материал или изделие методы испытаний группируют по двум классам: методы разрушающего контроля (РК) и методы неразрушающего контроля (НРК).

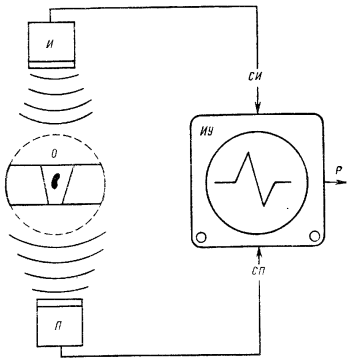


Рис. 10. Общая схема неразрушающего контроля

Разрушающие испытания проводят обычно на образцах-свидетелях, на моделях и реже на самих изделиях (на «штатных» стыках). Образцы-свидетели сваривают из того же материала и по той же технологии, что и сварные соединения изделий. РК-испытания, как правило, позволяют получить числовые данные, прямо характеризующие прочность, качество или надежность соединений. Если сварка образцов проведена в лабораторных условиях, то эти испытания отражают качество образцов, выполненных без производственных дефектов. Согласно ГОСТ 6996—66 механические испытания соединений и металла шва проводят на растяжение, изгиб, сплющивание и т. п. По характеру нагрузки различают статические, динамические и усталостные испытания.

Классификация и применение неразрушающих НР-методов. При НР-испытаниях, осуществляемых обычно на самих изделиях, оценивают те или иные физические свойства, лишь косвенно характеризующие качество, прочность или надежность соединения. Эти свойства связаны с наличием дефектов и их влиянием на передачу энергии или движение вещества в материале изделий.

Общая схема НР-контроля (рис. 10) включает: объект контроля $О$; излучающий $И$ и приемный $П$ преобразователи, через которые сигналы от излучателя $СИ$ и от приемника $СП$ поступают на индикаторное устройство $ИУ$. С индикатора $ИУ$ снимают данные для принятия решения $Р$ о дефектности или качестве объекта.

Согласно ГОСТ 18353—73 методы НР-контроля в зависимости от характера физических полей или движущихся масс, взаимодействующих с контролируемым объектом, подразделяют на десять основных видов: акустический, капиллярный, магнитный, оптический, радиационный, радиоволновый, тепловой, течеисканием, электрический, электромагнитный (вихревыми токами). Далее все виды контроля классифицируют по следующим четырем признакам:

а — по характеру взаимодействия физических полей или веществ с контролируемым объектом, например методы прошедшего и отраженного излучения — для акустического, оптического, радиационного, радиоволнового и теплового видов; индукционный метод — для магнитного вида контроля и т. п.;

б — по первичным информативным параметрам; например амплитудный и фазовый — для акустического и электромагнитного видов, цветной и люминесцентный — для капиллярного вида и контроля течеисканием и т. п.;

в — по способам индикации первичной информации, например пьезоэлектрический, индукционный и т. п.;

г — по способам представления окончательной информации, например визуальный, графический, звуковой, световой, метрический и др.

Из перечисленных десяти видов контроля для сварных соединений достаточно широко применяют только пять: радиационный, акустический (ультразвуковой), магнитный, капиллярный и течеисканием. Указанные методы дефектоскопии можно разделить на две группы по термодинамическому признаку (табл 3): 1, 2, 3 — методы, связанные с использованием передачи энергии; 4 и 5 — методы, использующие движение веществ — пенетрантов («проникающих» жидкостей или газов). *Тенденция* развития НР-методов контроля передачей энергии такова, что на первое место взамен радиационных постепенно приходят УЗ-методы.

Отдельные группы составляют методы контроля параметров процесса сварки и методы безобразцовых испытаний механических свойств сварных соединений. При выделении этих групп имелось в виду, что контроль параметров технологического процесса, так же как и НР-методы дефектоскопии, позволяет косвенно оценить качество сварных соединений. Безобразцовые испытания, например периодические проверки сварных стыков на действующих энергоблоках ТЭЦ и атомных станций, сопровождаются небольшими нарушениями целостности материала, но не изделия в целом [2].

Эффективность НР-методов контроля определяют с учетом ряда характеристик, главные из которых технологические, экономические и квалиметрические.

Технологические характеристики — это техническая применимость, условия и широта использования метода, производительность, чувствительность к выявлению критических и малозначительных дефектов, безопасность применения и т. п. Основные экономические характеристики — это абсолютные и относительные (по отношению к стоимости изделия) затраты на контроль, а также экономический эффект, полученный путем уменьшения доли брака и вероятности отказов (аварий), т. е. увеличения надежности изделий.

Квалиметрические характеристики контроля связаны с вероятностными показателями метода (см. гл. 18), это достоверность и воспроизводимость результатов контроля, выявляемость и распознаваемость дефектов и т. п.

Эффективность контроля

$$Э = \frac{ДП}{З},$$

где Д и П — достоверность и производительность метода а З — затраты на контроль.

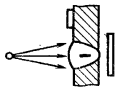
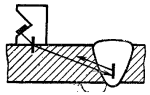
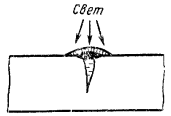
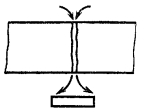
Вместо достоверности Д контроля можно использовать (если он известен) показатель Н увеличения надежности изделия в результате введения операции контроля.

При условии выполнения указанного выше минимума технологических требований основным показателем эффективности контроля должна служить его достоверность; но она пока еще не вошла в нормативные документы и ниже даны в основном качественные сведения о применимости и чувствительности НР-методов (табл. 4).

Под *предельной* чувствительностью метода следует понимать наименьшее значение характеристического размера эталонной модели дефекта, уверенно (с заданной вероятностью), обнаруживаемого при контроле. Эталонной моделью при УЗ-контроле служит плоскодонный отражатель, а характеристическим размером — его площадь. При радиографии эталонная модель — это канавка или проволочка дефектометра, а характеристический размер — их глубина или толщина соответственно. Наряду с предельной чувствительностью для всех методов контроля применимо понятие реальной и условной чувствительности.

Реальная чувствительность характеризует наименьшие размеры реального дефекта, обнаруживаемого в контролируемом сварном соединении. Определяется

3. Физические особенности основных видов дефектоскопии сварных соединений

Контроль передачей энергии			Контроль движением вещества	
Радиационная дефектоскопия Рд	Ультразвуковая дефектоскопия УЗд	Магнитная дефектоскопия Мд	Капиллярная дефектоскопия Кд	Дефектоскопия течеисканием ТЧд
				
Носители энергии		Пенетранты		
Лучи с электромагнитными колебаниями при длине волны $\lambda \approx 1-10^{-5}$ А Методы Рд: по излучениям: тормозным (рентгеновским) гамма-лучами нейтронными потоками по регистрации дефектов: радиография Ргд радиоскопия Рсд радиометрия Рмд	Механические УЗ-колебания с частотой $f = 1 \div 10$ Мгц, что дает в стали при скоростях УЗ-волн: продольных $C_L \approx 6 \frac{мм}{мкс}$ | поперечных $C_t \approx 3 \frac{мм}{мкс}$ для $f = 3$ Мгц получаемые длины волн: продольных $\lambda_L = \frac{C_L}{f} = 2$ мм | поперечных $\lambda_t = \frac{C_t}{f} = 1$ мм Методы УЗд: Эхо-метод поперечными волнами; теневой метод. Применяют также продольные, поверхностные (Рэлея), нормальные (Лэмба), головные волны	Электромагнитное постоянное или переменное поле Магнитографический МГд Магнитопорошковый МПд	Проникающие жидкости по особым рецептам Основные методы Люминесцентный Лд Цветной Цд Люминесцентно-цветной ЛЦд	Газы и жидкости С газами: пневматический Пд вакуумный Вд химический Хмд галоидный Глд масс-спектрометрический Мсд С жидкостями: гидравлический Гид керосином Крд пенетрантами Птд люмо-гидравлический ЛГид

4. Особенности обнаружения несплошностей и чувствительность НР-методов контроля (обозначения по табл. 3)

Рд	УЗд	Мд	Кд	ТЧд
Основные особенности в обнаружении несплошностей				
Объемные внутренние и поверхностные несплошности в любых материалах, в стыковых швах	Внутренние и поверхностные несплошности в любых материалах, кроме крупнозернистых, в стыковых и нахлесточных швах	Поверхностные и подповерхностные несплошности в ферромагнитных материалах и стыковых швах	Поверхностные несплошности в любых материалах и соединениях	Сквозные несплошности в любых материалах и соединениях
Ограничения в обнаружении несплошностей				
Несплошности малого раскрытия (трещины), расположенные под углом более 7° к лучу выявляются плохо	Чугун и аустенитные стали не контролируют. Однородные слипания выявляются плохо	Усиление шва существенно снижает чувствительность контроля	Других ограничений нет	
Для угловых швов метод мало эффективен	Объемные несплошности-включения выявляются хуже, чем плоские трещиноподобные несплошности			

Продолжение табл. 4

Рд	УЗд	Мд	Кд	ТЧд
Определение чувствительности W методов				
Абсолютные значения $W_{абс}$ измеряют как наименьшие выявленные размеры канавки $x_к$ или проволоки $x_п$ эталонов-дефектометров (по ГОСТ 7512—75). Относительные значения $W_{отн}$ определяют по формулам $\frac{x_к}{\delta+h}$ %, $\frac{x_п}{\delta}$ %	**W** измеряют как площадь плоскодонного отражателя $W = S = (0{,}2 \div 0{,}4)\lambda^2$. Условную чувствительность измеряют как глубину расположения бокового сверления (по эталону № 1 ГОСТ 14782—76)	$W = W_{отн} M_{Гд}$ измеряют как наименьшие выявленные размеры канавок эталонов-дефектометров $W = \frac{x}{H}$, %. Для МПд измеряют раскрытие трещин Δr и диаметр включений d	**W** как наименьшее выявляемое раскрытие Δr поверхностных несплошностей и их глубину Δh	**W** измеряют как скорость затухания через сквозные несплошности
Примерные значения предельной чувствительности				

Метод	$W_{отн}$, %
Рг Рс Рм	0,5—5 3—8 5—10
X-лучами *γ*-лучами Нейтронами	0,5—3 2—5 2—5

Предельная чувствительность $S \sim 1$ мм² на глубине 100 мм при раскрытии несплошности $\Delta r \approx 10^{-5}\lambda$

$M_{Гд}$ $W_{отн} = 5 \div 10\%$

$M_{Пд}$ $\Delta r \geqslant 0{,}005$ мм, $d \geqslant 2$ мм

Метод	Δr, мм	Δh, мм	Метод	W, л·мкм/с
Лд	0,01	0,5	Пд, Гид, Крд, Хмд, Гид, ЛТГд, Мод	10^{-1}
Цд	0,001	0,3		10^{-2}
ЛЦд	0,001	0,1		10^{-3} 10^{-4} 10^{-7}

на основании сравнения результатов дефектоскопии и вскрытия реальных соединений с дефектами.

Условная чувствительность характеризует наименьшие размеры уверенно обнаруживаемой условной модели дефекта, выполненной в эталонном образце. Условную чувствительность определяют только при ультразвуковом контроле, где она введена в связи с трудностью выполнения эталонных плоскодонных отверстий, а также в связи с тем, что часть серийно выпускаемой аппаратуры не имеет устройств (аттенюаторов) для измерения амплитуд эхо сигналов от дефектов.

В ряде случаев НР-контроля целесообразно различать три (или более) уровня чувствительности, например поисковый, контрольный и браковочный. Поисковый уровень чувствительности должен быть несколько выше контрольного, а контрольный — браковочного, причем не всегда следует стремиться к высокой браковочной чувствительности контроля — это связано, как правило, с возрастанием уровня помех и перебраковкой изделий.

В то же время для обеспечения требуемой чувствительности важно, чтобы сварное соединение было спроектировано «дефектоскопичным», т. е. пригодным для контролирования. В понятие дефектоскопичности (по аналогии с технологичностью) входит: доступность соединения для контроля, качество поверхности, учет влияния структуры металла, возможность выявления характерных дефектов и т. п. Самые чувствительные приборы и современная техника дефектоскопии бесполезны, если их нельзя рационально использовать из-за специфических недостатков конструкции стыка или несовершенства сварочной технологии. Например, слишком большое усиление, бугристость или чешуйчатость шва сводят на нет или ограничивают возможности магнитографии. Брызги в зоне шва при сварке в среде углекислого газа или слишком узкая околошовная зона не дают возможности применять ультразвуковой контроль и т. п.

КОНТРОЛЬ КОНСТРУКТИВНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Качество исходных материалов (основного металла, электродов, сварочной проволоки, флюсов, защитных газов и т. п.) должно удовлетворять предъявляемые к ним требования. Устанавливают соответствие сертификатных данных требуемым согласно технологическому процессу сварки. Затем осматривают материалы и дополнительно проверяют их качество в соответствии с нормативной документацией и ГОСТами.

Проверка исходных материалов *на свариваемость* должна предшествовать принятию решения об использовании тех или иных материалов в сварной конструкции. В соответствии со сказанным свариваемость контролируют в двух случаях: 1) при выборе материалов и разработке технологии сварки, т. е. при подготовке производства на стадии проекта; 2) при запуске материалов в производственный цикл, т. е. при технологической подготовке производства. Вторая проверка связана с возможными отклонениями плавок основного металла, проволоки, а также партий электродов и флюсов от сертификатных значений. Эти отклонения могут резко ухудшить свариваемость. При обеспечении необходимых свойств и высокого качества исходных материалов решающими будут качество и надежность системы оборудование — оператор. Технический уровень и состояние оборудования следует поддерживать в заданных пределах, соблюдая график технического обслуживания и требования соответствующих инструкций.

В сварочных машинах и аппаратах проверяют исправность регулирующих механизмов, наличие приборов, качество и длину токоподводящих проводов, состояние электрических контактов и токоподводящих мундштуков. У контактных машин контролируют форму и состояние поверхности электродов. На установках для сварки в атмосфере защитных газов проверяют исправность газовых редукторов, расходомеров, шлангов, сопел на горелках и газозащитных устройств и т. п.

При высокой квалификации сварщика можно обойтись простым и поэтому достаточно высоконадежным оборудованием. Здесь важен предупредительный контроль оборудования и качества исходных материалов, но главное — это приемочный контроль готовых изделий, который в данном случае может быть главным образом только пассивным.

Весьма эффективно применять автоматизированные системы управления качеством в процессе сварки (АСУ). АСУ с обратной связью применяют главным образом в тех случаях, когда значительно возрастают скорости процессов или требования к качеству соединений резко увеличиваются. Кроме того, в ряде случаев присутствие оператора нежелательно или даже невозможно из-за особых условий производства (высокая температура, вредная среда, радиация и т. д.).

Стабилизирующие, программные и следящие системы должны обеспечить не только выполнение соединений высокого качества, но с помощью автоматизированных обратных связей гарантировать также его стабильность При этих условиях приемочный контроль готовых соединений становится активным, а как отдельная операция — может быть сведен до минимума.

Контроль технологии включает все этапы изготовления сварных изделий. Режимы сварки контролируют в первую очередь с целью соблюдения параметров процесса (тока, напряжения и скорости сварки в установленных пределах) визуальным наблюдением по приборам и по внешнему виду сварного шва. При изготовлении ответственных конструкций и при серийном производстве контроль ведут путем непрерывной записи параметров режима с помощью самопишущих приборов или применяя АСУ. Наблюдение за процессом сварки позволяет вовремя предотвратить появление дефектов. Визуально контролируют режим сварки, газовую защиту дуги, правильность положения валиков в многослойных швах и т. п. Часто контролер с помощью лупы может проверять первые слои шва, что позволяет предотвратить в дальнейшем появление трещин в шве и околошовной зоне. Качество отдельных слоев шва проверяют также путем сравнения с эталонами. В атомной технике, например, при ремонтной сварке высокоответственных трубопроводов наблюдают за горением дуги с помощью перископов и волоконной оптики. Применяют телевизионные камеры и специальное оборудование для дистанционного наблюдения за дугой.

Квалификацию операторов следует проверять на всех этапах технологического процесса (заготовки, сборки, сварки, контроля). Для этого следует вести периодическую аттестацию и паспортизацию сборщиков, сварщиков и дефектоскопистов. Порядок и сроки паспортизации указаны в соответствующих документах. Необходимо разумное сочетание всех мер, направленных на улучшение качества продукции, а именно психологическая заинтересованность операторов в качестве их личной работы и работы коллектива; экономическая заинтересованность, основанная на четкой системе поощрений; высокая дисциплина, культура производства и т. п.

ВНЕШНИЙ ОСМОТР СОЕДИНЕНИЙ

Внешним осмотром проверяют качество: подготовки и сборки заготовок под сварку, выполнения швов в процессе сварки и готовых сварных швов. Обычно внешним осмотром контролируют все сварные изделия независимо от применения других видов контроля. Внешний осмотр во многих случаях достаточно информативен. Это наиболее дешевый и оперативный метод контроля, который иногда недооценивают.

Осмотром невооруженным глазом или в лупу проверяют наличие трещин, подрезов, свищей, прожогов, натеков, непроваров корня и кромок. Некоторые из указанных дефектов недопустимы и подлежат вырубке и повторной заварке. Определяют дефекты формы швов, распределение чешуек, характер распределения металла в усилении шва, величину мениска, проплава и т. п.

Внешний вид поверхности шва характерен для каждого способа сварки, для его пространственного положения, марки металла и других условий. Поэтому

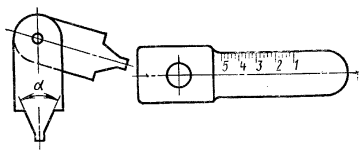


Рис. 11. Шаблоны для проверки сборки сварных соединений:
а — стыковых; *б* — нахлесточных

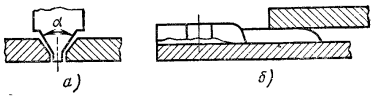
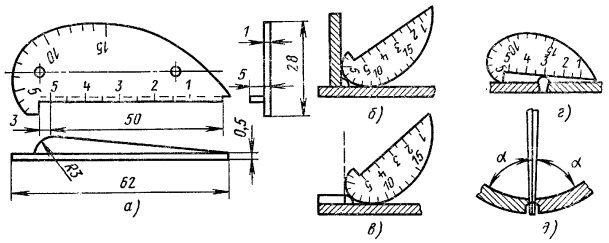


Рис. 12. Общий вид универсального шаблона (*а*) и схемы измерения высоты углового (*б* и *в*) и стыкового швов (*г*) и зазора (*д*)



часто сварные швы принимают по внешнему виду в сравнении с эталонами. Геометрические параметры разделок и швов измеряют с помощью шаблонов или измерительных инструментов (рис. 11 и 12). Только после внешнего осмотра изделия или соединения подвергают каким-либо физическим методам контроля для определения внутренних дефектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Волченко В. Н.** Оценка и контроль качества сварных соединений с применением статистических методов. М., Стандарт, 1974. 160 с.
2. **Гуляев В. Н. и Коржова Л. В.** Контроль металла и сварных соединений оборудования тепловых электростанций. М., Энергия, 1970. 280 с.
3. **Контроль** качества сварки/Под ред. В. Н. Волченко. М., Машиностроение, 1975. 328 с.
4. **Николаев Г. А., Куркин С. А., Винокуров В. А.** Расчет проектирования и изготовление сварных конструкций. М., Машиностроение, 1971. 760 с.
5. **Румянцев С. В.** Неразрушающие методы контроля сварных соединений. М., Машиностроение, 1976, 336 с.
6. **Труфяков В. И.** Усталость сварных соединений. Киев, Наукова думка, 1973. 300 с.

Глава 14

РАДИАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПОНЯТИЙ В ОБЛАСТИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

При неразрушающем контроле качества сварных соединений широко применяют радиационные методы дефектоскопии с использованием проникающих ионизирующих излучений. Ионизирующими называют излучения, взаимодействие которых со средой приводит к образованию электрических зарядов разных знаков.

Непосредственно ионизирующее излучение состоит из заряженных частиц (электрон, протон, α-частица и др.), имеющих кинетическую энергию, достаточную для ионизации при столкновении.

Косвенно ионизирующее излучение состоит из фотонов (квантов) или незаряженных частиц (нейтронов и др.), которые при взаимодействии со средой создают непосредственное ионизирующее излучение или вызывают ядерные превращения.

Фотон — порция электромагнитного излучения, несущая энергию $E = h\nu$, где h — постоянная Планка ($h = 6{,}625 \cdot 10^{-34}$ Дж·с); ν — частота электромагнитного излучения, $с^{-1}$. Длина волны электромагнитного излучения $\lambda = c/\nu$, где c — скорость распространения электромагнитного излучения ($c = 2{,}997 \cdot 10^{10}$ см/с).

Фотонное излучение — электромагнитное, косвенно ионизирующее излучение.

Гамма-излучение — фотонное излучение, возникающее при изменении энергетического состояния атомных ядер, ядерных превращениях или при аннигиляции частиц.

Радиоактивный распад — превращение ядер атомов с последующим изменением их физических и химических свойств, сопровождающееся ионизирующим излучением.

Период полураспада T — время, необходимое для распада половины имеющихся радиоактивных ядер.

С учетом закона экспоненциального уменьшения числа радиоактивных ядер в зависимости от времени

$$\frac{N}{N_0} = \frac{1}{2} = e^{-\lambda T};\ T = \frac{0{,}693}{\lambda},$$

где N — число оставшихся ядер спустя время T; N_0 — число радиоактивных ядер в начальный момент времени $T = 0$; λ — постоянная распада данного нуклида

Тормозное излучение — фотонное излучение с непрерывным спектром, возникающее при изменении кинетической энергии заряженных частиц.

Характеристическое излучение — фотонное излучение с дискретным спектром, возникающее при изменении энергетического состояния атома.

Рентгеновское излучение — совокупность тормозного и характеристического излучений в примерном диапазоне энергий фотонов от $1{,}6 \cdot 10^{-16}$ до $1{,}6 \cdot 10^{-13}$ Дж (от 1 кэВ до 1 МэВ), что соответствует интервалу длин волн от 10^{-8} до 10^{-11} см.

Корпускулярное излучение — ионизирующее излучение, состоящее из частиц с массой покоя, отличной от нуля.

Энергетический спектр ионизирующего излучения — распределение по энергиям частиц корпускулярного излучения или фотонов.

Поле ионизирующего излучения — пространственно-временное распределение ионизирующего излучения в рассматриваемой среде.

Моноэнергетическое излучение (однородное излучение) — ионизирующее излучение, состоящее из фотонов одинаковой энергии или частиц одного вида с одинаковой кинетической энергией.

Немоноэнергетическое излучение (неоднородное излучение) — ионизирующее излучение, состоящее из фотонов различной энергии или частиц одного вида с разной кинетической энергией.

Направленное излучение — ионизирующее излучение с выделенным преимущественным направлением распространения.

Узкий пучок излучения — направленное излучение, в котором фотоны излучения или частицы распространяются почти параллельно. Узкий пучок излучения получают с помощью специального устройства — коллиматора. В простейшем случае коллиматор изготовляют из двух свинцовых экранов с соосными отверстиями, расположенными на некотором расстоянии друг от друга.

Широкий пучок излучения — направленное излучение, распространяющееся внутри некоторого телесного угла. Направление излучения соответствует направлению оси телесного угла, которую на практике принято называть осью пучка излучения.

Эффективная энергия излучения — энергия фотонов такого моноэнергетического излучения, относительное ослабление которого в поглотителе определенного состава и определенной толщины такое же, как и рассматриваемого немоноэнергетического излучения.

Поглощение энергии излучения — преобразование энергии ионизирующего излучения в облучаемой среде в другие виды энергии, а также в энергию других видов излучения. Различают две категории поглощения энергии ионизирующих излучений: поглощение фотонного излучения (рентгеновского, тормозного или гамма-излучения) и поглощение энергии корпускулярного излучения (α- или β-излучений и др.).

При прохождении через вещество излучения, состоящего из заряженных частиц, последние теряют энергию на ионизацию или возбуждение атомов и молекул. Частицы с высокими энергиями, в основном электроны и позитроны, теряют ее также на тормозное излучение (так называемые радиационные потери). Для оценки поглощенной энергии введено понятие поглощенной дозы излучения.

Поглощенная доза D излучения (доза излучения) — отношение приращения средней энергии, переданной излучением веществу в элементарном объеме, к массе этого объема вещества. В качестве единицы поглощенной дозы принят джоуль на килограмм (Дж/кг). Джоуль на килограмм — поглощенная доза излучения, измеряемая энергией в один джоуль любого вида ионизирующего излучения, переданной массе в один килограмм. Допускается применение внесистемной единицы — рад (1 рад = 10^{-2} Дж/кг).

Мощность поглощенной дозы излучения (мощность дозы излучения) — доза, поглощаемая в единицу времени. За единицу мощности поглощенной дозы принят ватт на килограмм (Вт/кг) или рад в секунду [рад/с = 10^{-2} Дж/(кг·с)].

Для характеристики рентгеновского, тормозного и гамма-излучения принято понятие экспозиционной дозы.

Экспозиционная доза ионизирующего излучения $D_э$ — количественная характеристика рентгеновского, тормозного и гамма-излучения, основанная на их ионизирующем действии в сухом атмосферном воздухе и выраженная отношением суммарного электрического заряда ионов одного знака, образованного излучением и поглощенного в массе воздуха, к массе этого воздуха. За единицу измерения экспозиционной дозы принят кулон на килограмм (Кл/кг). Допускается применение внесистемной единицы рентген: 1Р = $2{,}58 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг. Экспозиционная доза в 1Р создает при нормальных условиях в 1 $см^3$ воздуха ионы, несущие одну электростатическую единицу количества электричества

каждого знака ($2{,}08 \cdot 10^9$ пар ионов). Поглощенная энергия в воздухе, соответствующая экспозиционной дозе 1Р, равна $0{,}88 \cdot 10^{-2}$ Дж/кг. На практике применяют внесистемную единицу мощности экспозиционной дозы — рентген в секунду ($1\text{Р/с} = 2{,}58 \cdot 10^{-4}$ А/кг).

Для оценки радиационной опасности хронического облучения человека в поле ионизирующих излучений произвольного состава введено понятие эквивалентной дозы излучения, определяемой суммой произведений поглощенных доз отдельных видов излучений и их соответствующих коэффициентов качества. Для рентгеновского и гамма-излучения коэффициент качества равен 1. Эквивалентная доза излучения измеряется в бэр.

Ослабление излучения — уменьшение интенсивности излучения, обусловленное взаимодействием ионизирующего излучения со средой.

Линейный коэффициент ослабления излучения (коэффициент ослабления) — отношение относительного изменения интенсивности направленного излучения на элементарном пути распространения в среде к длине этого пути. Если рассматривается не толщина среды, а ее масса, то применяется термин массовый коэффициент ослабления излучения. Линейный коэффициент ослабления излучения измеряется в $см^{-1}$, массовый — в $см^2/г$.

Вторичное излучение возникает в результате взаимодействия первичного излучения с веществом. Вторичным является однократно и многократно рассеянное излучение, характеристическое излучение атомов среды, тормозное излучение электронов, позитронов, фотоэлектронов и электронов отдачи, образующихся в процессах фотоэлектрического поглощения, комптоновского рассеяния и образования пар. Вторичное излучение снижает чувствительность и разрешающую способность радиационных методов контроля.

МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Прохождение ионизирующего излучения через материал облучаемого объекта сопровождается различными воздействиями излучения на материал (ионизация, тепловое и фотохимическое воздействие, флуоресценция и др.); это позволяет регистрировать ионизирующие излучения. В радиационной дефектоскопии применяют несколько методов регистрации излучений за контролируемым объектом.

Фотографический метод регистрации излучений основан на фотохимическом действии ионизирующих излучений. В радиационной дефектоскопии детектором излучения является рентгенографическая пленка. Ионизирующее излучение образует в чувствительном слое пленки фотоэлектроны и электроны отдачи. При взаимодействии фотоэлектронов с зернами бромистого серебра, содержащимися в чувствительном слое, образуются атомы серебра, которые способствуют проявлению всего зерна. В процессе проявления происходит усиление скрытого изображения примерно в 10^9 раз. Пленка, проявленная после облучения, выглядит потемневшей. Оптическая плотность почернения (степень потемнения) пленки зависит от интенсивности излучения (мощности дозы излучения) и времени воздействия излучения на пленку, т. е. в целом от дозы излучения.

Сцинтилляционный метод регистрации излучений основан на явлении люминесценции, т. е. свойстве некоторых веществ (фосфоров) преобразовывать поглощенную энергию ионизирующих излучений в видимый свет (свечение фосфоров под действием ионизирующих излучений). Поглощенная энергия ионизирующих излучений расходуется на возбуждение атомов и молекул фосфора, а затем через некоторое время — период высвечивания фосфора — излучается им в виде квантов видимого света. Если период высвечивания фосфора меньше 10^{-7} с, то явление называется флуоресценцией; если период высвечивания больше 10^{-7} с — фосфоресценцией.

На практике применяют (основанные на этом методе регистрации излучений):

— сцинтилляционные счетчики излучения, состоящие из сцинтилляционного кристалла, фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) и электронной схемы;

— флуороскопические экраны-детекторы ионизирующих излучений, преобразующие падающее на них излучение в видимый свет; их применяют для непосредственного преобразования рентгеновского, тормозного и гамма-излучения в видимое изображение;

— усиливающие люминесцентные экраны, преобразующие фотоны ионизирующего излучения в кванты видимого света; их применяют в сочетании с рентгеновской пленкой для усиления фотографического действия рентгеновского, тормозного и гамма-излучения.

Ионизационный метод регистрации излучений основан на регистрации ионов, образуемых ионизирующими излучениями в облучаемой среде. В качестве облучаемой среды используют газ, заключенный в ограниченном объеме, — ионизационном детекторе излучений. Применяют три вида ионизационных газовых детекторов излучения: ионизационные камеры, пропорциональные счетчики, газоразрядные счетчики (счетчики Гейгера—Мюллера).

КЛАССИФИКАЦИЯ РАДИАЦИОННЫХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ

Радиационные методы и средства неразрушающего контроля материалов, деталей, узлов, изделий (конструкций) в зависимости от физических явлений, положенных в их основу, классифицируют по следующим признакам:

а) по характеру проникающей ионизирующей радиации, взаимодействующей с контролируемым объектом;

б) по характеру взаимодействия проникающей радиации с контролируемым объектом;

в) по первичным информативным параметрам;

г) по способам индикации первичной информации;

д) по способам представления окончательной информации.

В зависимости от этих признаков различают радиографический, радиоскопический и радиометрический методы неразрушающего контроля (ГОСТ 18353—73).

РАДИОГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ (РАДИОГРАФИЯ)

При радиографическом методе контроля — радиографии для регистрации интенсивности излучения за исследуемым объектом (изделия) в качестве детектора излучения применяют рентгенографическую пленку (рис. 1). Рентгенография и гаммаграфия — методы, обладающие большой общностью по технологии контроля. Они широко применяются в промышленности, так как обладают высокой чувствительностью к дефектам, объективностью, простой схемой просвечивания и доступностью организации и проведения контроля. К радиографии следует отнести и ксерорадиографический (электрорадиографический) метод контроля.

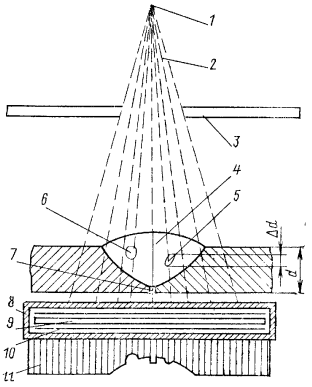


Рис. 1. Схематическое изображение радиографирования сварного шва:

1 — источник излучения; *2* — поток излучения; *3* — диафрагма; *4* — сварной шов; *5* — дефект, заполненный газом; *6* — включение, плотнее наплавленного металла; *7* — непровар; *8* — светонепроницаемая кассета; *9* — рентгенографическая пленка; *10* — усиливающие экраны; *11* — эпюра интенсивности излучения на выходе из просвечиваемого объекта

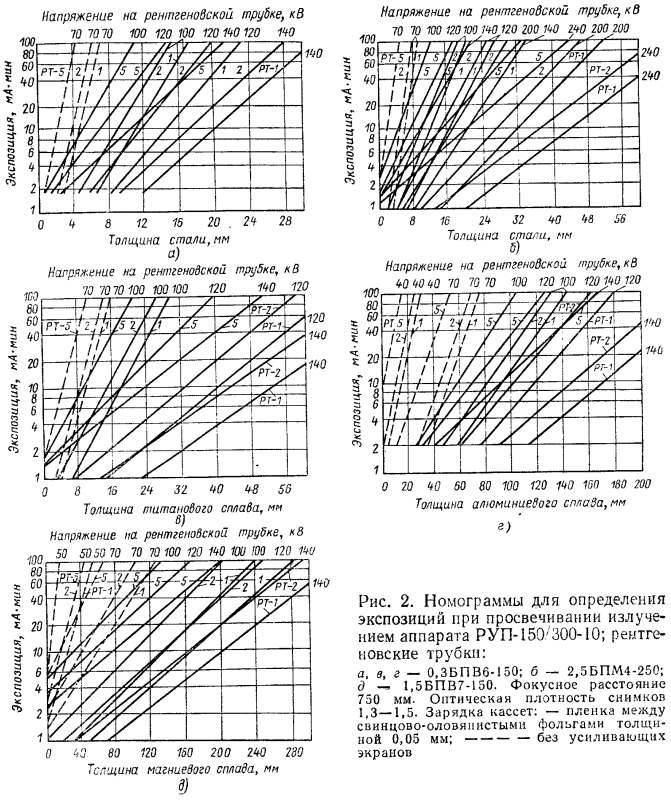


Рис. 2. Номограммы для определения экспозиций при просвечивании излучением аппарата РУП-150/300-10; рентгеновские трубки:

а, в, г — 0,3БПВ6-150; *б* — 2,5БПМ4-250; *д* — 1,5БПВ7-150. Фокусное расстояние 750 мм. Оптическая плотность снимков 1,3—1,5. Зарядка кассет: — пленка между свинцово-оловянистыми фольгами толщиной 0,05 мм; — — — без усиливающих экранов

Рентгенография — метод, основанный на регистрации интенсивности рентгеновского излучения, взаимодействующего с контролируемым объектом, на рентгенографической пленке. Оптическая плотность почернения рентгенографической пленки зависит от дозы ионизирующего излучения, поэтому она больше на участках, перекрытых менее плотными (или менее протяженными в направлении просвечивания) местами контролируемого объекта. Вследствие этого выявляется картина внутреннего состояния контролируемого объекта. Время просвечивания исследуемых объектов определяется по номограммам экспозиции (рис. 2), которые обычно строят для каждого материала в зависимости от толщины просвечиваемого слоя, напряжения на аноде рентгеновской трубки (энергии излучения), анодного тока, фокусного расстояния (от источника излучения до пленки), типа применяемой рентгенографической пленки и усиливающих экранов.

Для сокращения времени просвечивания при радиографическом методе контроля применяют усиливающие экраны: металлические (главным образом свинцовые, оловянные и оловянисто-свинцовые, иногда и из других металлов), и люминесцентные — на основе рентгенолюминофоров различного химического состава. Металлические усиливающие экраны по сравнению с флуоресцирующими обеспечивают более четкое изображение дефектов на снимке.

Рентгеновский аппарат выбирают (табл. 1), исходя из необходимого диапазона напряжения на рентгеновской трубке, с учетом области применения аппарата (табл. 2—5) и конструктивных особенностей контролируемых изделий, условий контроля (цеховые, полевые, стационарные) и эксплуатационных возможностей аппарата (габариты, масса, максимальный анодный ток, размеры фокуса рентгеновской трубки и др.).

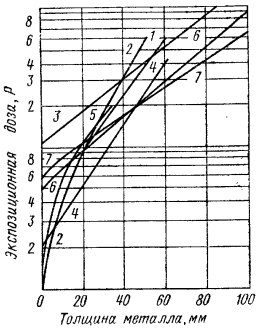


Рис. 3. Кривые экспозиционных доз для просвечивания стали на пленку РТ-1 при фокусном расстоянии 50 см:

1 — ^{170}Tm (свинцовая фольга толщиной δ_{Pb} = 0,05/0,05 мм); *2* — ^{75}Se (δ_{Pb} = 0,1/0,2 мм); *3* — ^{60}Co (δ_{Pb} = 0,2/0,2 мм); *4* — ^{192}Ir (δ_{Pb} = 0,2/0,2 мм); *5* — ^{155}Eu (δ_{Pb} = 0,05/0,05 мм); *6* — ^{137}Cs (δ_{Pb} = 0,2/0,3 мм); *7* — ^{152}Eu (δ_{Pb} = 0,2/0,2 мм)

Гаммаграфия — метод обнаружения скрытых дефектов путем просвечивания контролируемых объектов гамма-излучением радиоактивных нуклидов и регистрации полученного изображения на рентгенографическую пленку. Время просвечивания определяют по номограммам экспозиции (рис. 3) в зависимости от толщины и плотности просвечиваемого материала, типа радиоактивного источника, интенсивности излучения (активности выбранного источника излучения), фокусного расстояния, типа применяемой рентгенографической пленки и усиливающих экранов.

Гаммаграфию применяют: а) при контроле сварных конструкций, просвечивание которых с помощью рентгеновских аппаратов невозможно из-за большой толщины; б) при просвечивании сложных сварных узлов (изделий), конструкция которых исключает возможность рентгеновского просвечивания; в) при просвечивании кольцевых сварных швов крупногабаритных цилиндрических и сферических изделий, контроль которых рентгеновским излучением, включая использование рентгеновских трубок с вынесенным анодом, менее эффективен; г) при просвечивании сварных соединений изделий в полевых условиях, когда возможность проведения рентгеновского просвечивания исключена; д) во всех случаях, когда отсутствует рентгеновская аппаратура или нельзя применять другие методы контроля.

Гамма-дефектоскоп и радиоактивный источник гамма-излучения при радиографическом методе контроля выбирают в соответствии с табл. 3, 5 и 6.

1. Техническая характеристика рентгеновских аппаратов

Тип аппарата	Напряжение, кВ	Максимальный анодный ток, мА	Тип рентгеновской трубки	Размер оптического фокуса, мм	Масса, кг	Напряжение питающей сети, В	Число фаз	Мощность, кВА	Размеры бленды рентгеновской трубки, мм
Переносные аппараты									
7Л2	70—75	10	1БДМ6-75	Круглый ⌀ 3,0	~29	127/220	1	2,0	330×250×200
РУП-120-5-1	50—120	5	0,4БПМ2-120	Ширина 2 (1 : 1)	Пульт управления 30; блок-трансформатор 45	220/380	1	2,0	300×250×540
РУП-160-6П	50—160	6	0,7БПК2-160		Пульт управления 33; блок-трансформатор 35	220	1	2,5	500×320×230 (пульт), 300×850 (бленда рентгеновской трубки)
РУП-200-5-1	70—200	5	0,7БПМ3-200	Ширина 2,0 (1 : 1,25)	Пульт управления 30; блок-трансформатор 82	220/380	1	3,0	270×450×750
МИРА-1Д	90—110	—	ИМА-6Д	Круглый ⌀ 2,0	12	220	1	0,3	⌀ 80×300 (бленда рентгеновской трубки), 360×270×120 (пульт управления)
МИРА-2Д	140—170	—	ИМА-2-150Д	Круглый ⌀ < 3,0	15	220	1	0,4	460×120×230 (бленда рентгеновской трубки), 300×250×120 (пульт управления)
МИРА-3Д	220—250	—	ИМА5-320Д	Круглый ⌀ 3	20	220	1	0,4	578×286×160 (бленда рентгеновской трубки), 300×250×120 (пульт управления)
Передвижные аппараты									
РУТ-60-20-1	10—60	20	1БПВ1-60	Ширина 3,0 (1 : 1,25)	280	127/220/380	1	2,5	97×135×520
РАП-100-10	10—100	10	1БПВ15-100	Ширина 1,5 (1 : 1)	Защитный кожух 6; общая масса 200	220	1	1,5	⌀ 90×450; проходной размер остальных элементов аппарата — люк ⌀ 300
РАП-150-7	20—150	7	1БПВ18-150	Ширина 1,5 (1 : 1)	Защитный кожух 9,5; общая масса 200	220	1	2	⌀ 135×500; проходной размер остальных элементов аппарата ⌀ 300
РАП-150-01 (РАП-150-02, РАП-150-03)	(0—80)±8, (0—150)±10	15	0,3БПВ6-150 острофокусная; 1,5БПВ7-150 с выносным анодом; 1БПВ15-100 малогабаритная	При U_a до 75 кВ 0,3—0,7; при U_a св. 75 кВ 1,2—1,4 Круглый ⌀ 3,0 Ширина 1,5	800	380±38	3	4	⌀ 270×810 (0,3БПВ6-150), ⌀ 270×880 (1,5БПВ7-150), длина вынесенного анода 230; ⌀ 90×450 (1,5БПВ15-100)
РУП-150-10-1	35—150	10	1,5БПВ7-150 с вынесенным анодом; 0,3БПВ6-150 острофокусная	Круглый ⌀ 3,0 При U_a до 75 кВ 0,3—0,7; при U_a св. 75 кВ 1,2—1,4	670	220/380	3	2,5	⌀ 270×880 (1,5БПВ7-150) длина вынесенного анода 230; ⌀ 270×810 (0,3БПВ6-150)
РУП-200-20-5	70—200	20	1,5БПМ1-200, 3,5БПМ1-200	Ширина 4,5 (1 : 1,25) Круглый ⌀ 10	750	220/380	3	7	⌀ 300×865
РУП-150/300-10	35—150 70—250	10	1,5БПВ7-150 с вынесенным анодом; 0,3БПВ6-150 острофокусная 2,5БПМ4-250	Круглый ⌀ 3,0 При U_a до 75 кВ 0,3—0,7; при U_a св. 75 кВ 1,2—1,4 4,0×4,0	1000	220/380	3	5	⌀ 270×880 (1,5БПВ7-150); длина вынесенного анода 230; ⌀ 270×810 (0,3БПВ6-150), 195×340×720 (2,5БПМ4-250)

Продолжение табл. 1

Тип аппарата	Напряжение, кВ	Максимальный анодный ток, мА	Тип рентгеновской трубки	Размер оптического фокуса, мм	Масса, кг	Напряжение питающей сети, В	Число фаз	Мощность, кВА	Размеры бленды рентгеновской трубки, мм
РАП-150/300-01 (РАП-150/300-02, РАП-150/300-03)	(0—160)±16 (0—300)±20	15	0,3БПВ6-150 острофокусная	При U_a до 75 кВ 0,3—0,7; при U_a св. 75 кВ 1,2—1,4 Круглый ⌀ 3,0	1200	380±38	3	8	⌀ 270×810 (0,3БПВ6-150); ⌀ 270×880 (1,5БПВ7-150), длина вынесенного анода 230; 960×312×312 (1,2-3БПМ5-300) ⌀ 90×450 (1БПВ15-100)
			1,5БПВ7-150 с вынесенным анодом 1,2-3БПМ5-300 1БПВ15-100 малогабаритная	Не более 1,5 Ширина 1,5		50±1 Гц			
РУП-400-5-1	250—400	5	1,5БПВ2-400,	Круглый ⌀ 5—7	600	220/380	1	4	⌀ 550×980, длина вынесенного анода 590
			1,5БПВ3-400	Круглый ⌀ 5—7					
РТД-1	250—1000	1,5	1,5БПВ-12/13-1000	5,0					⌀ 1000×2500

Примечания: 1. Для просвечивания рентгеновским излучением применяют серийно выпускаемые рентгеновские аппараты непрерывного действия типа РАП-100-10, РУП-120-5-1, РАП-150-7, РУП-150-10-1, РУП-200-5-1, РУП-150/300-10, РАП-150/300-01, РАП-150/300-02, РАП-150/300-03, РАП-150-01, РАП-150-02, РАП-150-03, РУП-160-6П, РУП-400-5-1, импульсные рентгеновские аппараты МИРА-1Д, МИРА-2Д и МИРА-3Д, а также выпущенные серийно ранее аппараты 7,12, РУТ-60-20-1, РУП-200-20-5. 2. Под оптическим фокусом подразумевается проекция фокуса в направлении оси рабочего пучка. Фокус трубки — это та часть поверхности зеркала анода, которая является местом преимущественного попадания первичного электронного потока и преимущественного выхода рентгеновского излучения. 3. Для прямоугольного фокуса в скобках приведено отношение сторон.

2. Толщина просвечиваемого металла при использовании рентгеновских аппаратов, мм

Железо	Титан	Алюминий	Магний	Напряжение на рентгеновской трубке кВ, не выше	Железо	Титан	Алюминий	Магний	Напряжение на рентгеновской трубке кВ, не выше
0,4	1	5	14	40	10	24	67	120	150
0,7	2	12	22	50	21	47	100	160	200
1	3	20	35	60	27	57	112	200	250
2	6	38	57	80	33	72	132	240	300
5	10	54	80	100	46	106	210	310	400
7	18	59	105	120	150	265	430	650	1000

3. Толщина просвечиваемого металла при использовании гамма-дефектоскопов, мм

Железо	Титан	Алюминий	Магний	Закрытые источники на основе радиоактивных нуклидов
1—20	2—40	3—70	10—200	^{170}Tm
5—80	10—120	40—350	70—450	^{192}Ir
10—120	20—150	50—350	100—500	^{137}Cs
30—200	60—300	200—500	300—700	^{60}Co

4. Толщина просвечиваемого металла при использовании бетатронов, мм

Железо	Титан	Алюминий	Олово	Энергия ускоренных электронов, МэВ
50—100	90—190	150—310	30—60	6
70—180	130—350	220—570	40—110	9
100—220	190—430	330—740	50—110	18
130—250	250—490	180—920	60—120	25
150—350	290—680	570—1300	60—150	30
150—450	290—880	610—1800	60—180	35

Мощность экспозиционной дозы излучения радиоактивного источника устанавливают исходя из необходимой производительности контроля в соответствии с номенклатурой и техническими характеристиками выпускаемых источников гамма-излучения.

Тип гамма-дефектоскопа определяется конструктивными особенностями контролируемого объекта, типом радиоактивного источника и создаваемой им мощностью экспозиционной дозы излучения, условиями контроля и эксплуатационными возможностями дефектоскопа (масса, его конструктивное оформление).

Предпочтительным детектором гамма-излучения радиоактивных источников является рентгенографическая пленка, применяемая в сочетании с усиливающими свинцовыми или оловянисто-свинцовыми экранами. Можно также применять люминесцентные усиливающие экраны или их комбинации с металлическими экранами.

Параметры радиографического контроля — энергию излучения, марку рентгенографической пленки, расстояние между источником излучения и объектом контроля с закрепленной кассетой, размеры контролируемых участков, размеры снимков, оптическую плотность почернения снимков, эталоны чувствительности, которые устанавливаются на сварном соединении, порядок расшифровки снимков и т. д. — определяют в соответствии с ГОСТ 7512—75 «Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод.»

5. Характеристика отечественных гамма-дефектоскопов

Тип аппарата (заменяемый аппарат)	Масса радиационной головки, кг	Привод	Максимальное удаление источника от радиационной головки, м		Толщина просвечиваемых материалов, мм	
			горизонтальное	вертикальное	из стали	из легких металлов и сплавов
РК-2	40	Электромеханический	5	5	1—20	1,5—100
«Гаммарид-20» («Газпром»)	12±1	Ручной	0,25	—	1—60	1,5—120
«Гаммарид-21» (РИД-11)	6±1	Ручной	5	5	1—40	1—120
«Гаммарид-25»	15±1	Ручной	12	6	1—80	1,5—250
«Стапель-5М» (Стапель-5)	7	Ручной Удаление от пульта 3,5 м	—	—	6—60	16—160

Примечание. Для гамма-дефектоскопов «Гаммарид-20», «Гаммарид-21» и «Гаммарид-25» отдельно поставляется упаковочный транспортный комплект УКТ-Д-11, для гамма-дефектоскопа «Стапель-5М» — специальный контейнер.

Для проведения радиографического контроля толстостенных стальных изделий, а также изделий из более тяжелых металлов или из легких материалов большой толщины следует применять ускорители заряженных частиц — бетатроны, линейные ускорители (табл. 4, 7 и 8), микротроны.

В зависимости от максимальной энергии и мощности экспозиционной дозы тормозного излучения бетатронов установлена область их применения по толщине и плотности контролируемых материалов (см. табл. 4).

Линейные ускорители создают тормозное излучение в широких диапазонах энергий и интенсивностей (см. табл. 8). Мощным источником тормозного излучения являются также циклические ускорители электронов — микротроны. Отечественный ускоритель «Микротрон-Д», рассчитанный на энергию 10 МэВ, создает мощность экспозиционной дозы излучения до 2000 Р/мин на расстоянии 1 м от мишени. Высокая интенсивность излучения линейных ускорителей и микротронов делает их в некоторых случаях предпочтительными источниками, например, при просвечивании стальных толстостенных (до 500 мм) конструкций. Бетатроны, линейные ускорители и микротроны изготовляются по заказам потребителей. С учетом требований по чувствительности к дефектам и производительности контроля рентгенографические пленки заряжают в кассеты вместе со свинцовыми экранами, флуоресцирующими экранами, с их комбинацией или без экранов.

6. Характеристика источников излучения, применяемых в гамма-дефектоскопах

Источники излучения		Мощность экспозиционной дозы гамма-излучения на расстоянии 1 м, Р/с	Наружные размеры источника (ампулы), мм		Тип аппарата		
Тип	Нуклид		Диаметр	Высота	«Гаммарид-20»	«Гаммарид-21»	«Гаммарид-25»
ГИД-И-1	^{192}Ir	$1{,}5\cdot10^{-4}$	4±0,24	5—0,8	+	+	+
ГИД-И-2	^{192}Ir	$5\cdot10^{-4}$	4±0,24	5—0,8	+	+	+
ГИД-И-3	^{192}Ir	$1{,}5\cdot10^{-3}$	4±0,24	5—0,8	+	+	+
ГИД-И-4	^{192}Ir	$2{,}5\cdot10^{-3}$	4±0,24	5—0,8	+		+
ГИД-И-5	^{192}Ir	$5\cdot10^{-3}$	5±0,28	6—0,8	+		+
ГИД-И-6	^{192}Ir	$1{,}5\cdot10^{-2}$	6±0,30	7—0,9			+
ГИД-И-7	^{192}Ir	$2{,}5\cdot10^{-2}$	8±0,30	9—0,9			
ГИД-Ц-1	^{137}Cs	$1{,}2\cdot10^{-4}$	6±0,30	10—1	+	+	+
ГИД-Ц-2	^{137}Cs	$5\cdot10^{-4}$	8±0,30	12—1	+		+
ТУ-1	^{170}Tm	$2{,}3\cdot10^{-5}$	$7{,}5^{+0{,}8}_{-0{,}5}$	8+0,8	+	+	+
ТУ-3	^{170}Tm	$1{,}2\cdot10^{-4}$	$12^{+0{,}8}_{-0{,}5}$	$10^{+0{,}8}_{-0{,}5}$			

Примечание. В гамма-дефектоскопе РК-2 используется источник ТУ-3 на основе ^{170}Tm, в гамма-дефектоскопе «Стапель-5М» — источник ГИД-И-3.

7. Характеристика бетатронов, применяемых для радиационной дефектоскопии

Параметр	Тип бетатрона		
	Б-18	Б-25/10	Б-35/8
Пределы регулирования энергии ускоренных электронов, МэВ	6—18	10—25	10—35
Максимальная мощность экспозиционной дозы на расстоянии 1 м от мишени, Р/мин	10	40	300
Потребляемая мощность, кВт	8	10	30
Масса излучателя, т	0,6	2,5	4,5
Габаритные размеры излучателя, м	1,0×0,7×0,45	1,2×1,2×1,25	1,5×1,4×1,0

Разновидностью радиографического метода контроля является нейтронная радиография с помощью потоков тепловых нейтронов, которые предназначаются для контроля больших толщин тяжелых материалов, тонких слоев водородсодержащих материалов (в том числе заэкранированных более тяжелыми материалами), для обнаружения включений элементов, содержащих нуклиды с высоким поглощением нейтронов — ^{10}B, ^{6}Li, ^{113}Cd и др., для контроля качества радиоактивных изделий. Для получения изображений на рентгенографической пленке используются экраны-конверторы из цветных и редких металлов — Cd, Rh, Ag, In, Dy, Au. В качестве источников нейтронов применяют ядерные реакторы, электрические нейтронные генераторы и радиоизотопные источники, использующие (α, n) и (γ, n)-ядерные реакции.

8. Характеристика линейных ускорителей, применяемых для радиационной дефектоскопии

Параметр	У-10	У-12	У-13	У-16	У-17	У-30	ЛУЭ-10-1	ЛУЭ-10-2Д	ЛУЭ-15-1,5
Максимальная энергия электронов, МэВ	3	5	10	1,5—2	30	0,5—2,5	8	10	15
Максимальная мощность дозы рентгеновского излучения на расстоянии 1 м от мишени, Р/мин	420	500	2500	190	600	7,2	1800	5000	10 000
Габаритные размеры, см	200×80×150	330×80×160	510×80×190	200×80×150	550×80×170	160×61×140	275×100×80	417×125×100	450×150×200

9. Рентгеносенситометрические показатели рентгенографических пленок

Марка пленки	Чувствительность к излучению, Р$^{-1}$	Коэффициент контрастности	Оптическая плотность вуали	Марка пленки	Чувствительность к излучению, Р$^{-1}$	Коэффициент контрастности	Оптическая плотность вуали
РТ-1	25	3,0	0,20	РТ-5	3	4,0	0,10
РНТМ-1	13	3,5	0,12	РТ-2	15	2,5	0,20
РТ-СШ	10	3,0	0,15	РТ-2 с люминесцентными экранами	450	3,0	0,20
РТ-4М	5	3,5	0,10				

При радиографическом контроле применяют рентгенографические пленки, различающиеся по чувствительности к излучению и коэффициенту контрастности (табл. 9). Рентгенографические пленки с более высокой чувствительностью к излучению (например РТ-1) обеспечивают меньшие времена просвечивания, однако чувствительность к дефектам у этих пленок хуже, чем у пленок с меньшей чувствительностью к излучению, но с большим коэффициентом контрастности (например, РТ-5, РНТМ-1, РТ-4М). Марку пленки выбирают с учетом требуемых чувствительности к дефектам и производительности контроля. При просвечивании ответственных сварных соединений следует применять пленку РТ-5.

Ксерорадиография (электрорадиография) — метод получения изображения дефектов с использованием в качестве детектора излучения фотопроводниковой (обычно селеновой) заряженной пластинки, чувствительной к ионизирующему излучению, на поверхности которой электрические свойства изменяются в соответствии с энергией рентгеновского или гамма-излучения, воспринятого этой поверхностью. Под действием рентгеновского или гамма-излучения селен становится проводником. В результате происходит утечка заряда с поверхности

пластинки. Остаточный заряд на любом участке пластинки будет однозначно связан с интенсивностью излучения, падающего на данный ее участок; при этом остаточный заряд будет тем меньше, чем больше интенсивность излучения. В тех местах пластинки, на которые попало излучение, прошедшее через дефект в контролируемом объекте (трещина, непровар, поры), остаточный заряд будет меньше, чем в других местах пластинки, соответствующих бездефектному участку изделия. Таким образом, в пластинке образуется скрытое электростатическое изображение внутреннего строения просвечиваемого объекта. Изображения проявляют, нанося на пластинку сухие красящие вещества (порошок), частицы которых притягиваются к пластинке оставшимся на ней электрическим зарядом. В связи с чем весь процесс получил название ксерорадиографии (от греч. xeros — сухой), а пластинки — ксерорадиографические.

На практике для получения ксерорадиографических изображений применяют ксерорадиографические пластины, работающие в диапазоне температур 5—35° С (СЭРП-100П, СЭРП-150 и др.).

Для ксерорадиографии применяют установки двух типов — стационарные ЭРГА-01, ЭРГА-02, ЭРГА-ПП, ЭГУ-6М и ЭРГА-М (для медицинских целей), ЭРГА-С и переносные ПКР, ПКР-1, ПКР-2С и др. Установки ЭГУ-6М, ЭРГА-М и ЭРГА-С содержат узлы для зарядки, проявления, закрепления и очистки. Габаритные размеры установок 1200×1200×800 мм, масса 170 кг.

Установки ПКР-1 и ПКР-2С имеют три узла: зарядки, проявления и закрепления. Габаритные размеры установки ПКР-1 220×240×360 мм, масса 20 кг. Масса установки ПКР-2С 30 кг, габаритные размеры 400×400×600 мм. Эти установки предназначены для использования в лабораторных, цеховых, монтажных и полевых условиях.

Для неразрушающего контроля плоских сварных соединений и соединений труб диаметром 800 мм и выше предназначен аппарат ЭРЕНГ.

РАДИОСКОПИЧЕСКИЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ (РАДИОСКОПИЯ)

Радиоскопический метод основан на просвечивании контролируемых объектов ионизирующим излучением, преобразовании радиационного изображения объекта в светотеневое или электронное изображение и передаче этих изображений на расстояние с последующим анализом изображений на экране оптического устройства или телевизионного приемника.

При радиоскопическом методе информацию об ионизирующем излучении получают с помощью флуороскопических экранов, электронно-оптических преобразователей (ЭОП), оптических усилителей и телевизионных систем. Метод радиоскопии позволяет исследовать контролируемый объект непосредственно в момент его просвечивания. При этом сохраняются такие достоинства радиографического метода контроля, как возможность определения типа, характера и формы выявляемого дефекта. Малая инерционность преобразования радиационного изображения позволяет за короткое время исследовать («просмотреть») объект под различными углами к направлению просвечивания, что повышает вероятность выявления в нем скрытых дефектов. Радиоскопический метод обладает чувствительностью, близкой к чувствительности радиографического метода, и более высокой производительностью контроля. Источники и преобразователи рентгеновского и тормозного излучения, а также средства телевизионной техники, в зависимости от толщины и плотности контролируемого материала, требуемой чувствительности радиоскопического метода, размера рабочей поверхности преобразователя излучения и защиты контролера от излучения, выбирают в соответствии с табл. 10 и 11.

Для радиоскопического контроля толстостенных (св. 100 мм) стальных изделий, а также изделий из легких материалов большой толщины в качестве источ-

10. Область применения радиоскопических установок

Толщина материала, мм	Диапазон энергий ускоренных электронов, кэВ	Преобразователь изображения (радиоскопическая система) и тип радиоскопической установки при контроле сварных соединений, собранных узлов и изделий
Сплавы на основе алюминия		
От 1 до 15	От 10 до 120	РЭОП. Рентгенотелевизионная установка с рентгеновидиконом (ПТУ-38, «Дефектоскоп-2», ПТУ-39, «Дефектоскоп-1», «Дефектоскоп»)
От 15 до 50	От 50 до 200	Рентгенотелевизионная установка с РЭОП. Рентгенотелевизионная установка с рентгеновидиконом (ПТУ-38, «Дефектоскоп-2», ПТУ-39, «Дефектоскоп-1», «Дефектоскоп»)
Сплавы на основе железа		
От 1 до 6	От 50 до 180	РЭОП. Рентгенотелевизионная установка с рентгеновидиконом (ПТУ-38, «Дефектоскоп-2», ПТУ-39, «Дефектоскоп-1», «Дефектоскоп»)
От 4 до 20	От 140 до 250	Рентгенотелевизионная установка с РЭОП. Рентгенотелевизионная установка со сцинтилляционным монокристаллом («Интроскоп»)
От 20 до 100	От 250 до 1000	Рентгенотелевизионная установка со сцинтилляционным монокристаллом («Интроскоп», РИ-60ТЭ)
Св. 100	От 6000 до 35000	Рентгенотелевизионная установка со сцинтилляционным монокристаллом и электронно-оптическим усилителем яркости изображения (РИ-60ТЭ)

ников излучения следует применять ускорители заряженных частиц — бетатроны, линейные ускорители, а в качестве индикатора излучения — рентгено-телевизионные установки со сцинтилляционным монокристаллом и (или) усилителем яркости изображений.

Детали и узлы контролируют радиоскопическим методом с использованием механической системы, которая обеспечивает: крепление и необходимые перемещения источников и преобразователей излучения, оптической проекционной системы и передающей телевизионной камеры; крепление и необходимые перемещения контролируемой детали или узла; установку маркирующего устройства и устройства для фотографирования дефектных участков. Управление механической системой должно осуществляться дистанционно из помещения управления.

11. Характеристики радиоскопических установок

Наименование, тип, шифр установки	Преобразователь излучения, размеры	Передающая телевизионная трубка	Приемник телевизионного изображения	Габариты, масса
Прикладная телевизионная установка: ПТУ-38	Рентгеновидикон: ЛИ-417 с чувствительной поверхностью Ø 18 мм		Видеоконтрольное устройство: ВК-29 с диагональю кинескопа 47 см для наблюдения изображения; видеоконтрольное устройство ВК-23 с диагональю кинескопа 23 см для фотографирования изображения	Передающая камера КТП-52, 120×130×200 Видеоконтрольное устройство ВК-29, 440×640×1235 мм Видеоконтрольное устройство ВК-23, 272×240×860 мм Устройство наведения УН-4, 92×205×315 мм
ПТУ-39	ЛИ-423 с чувствительной поверхностью диаметром 90 мм			Передающая камера КТП-53, 145×130×340 мм, остальное то же, что в ПТУ-38
«Дефектоскоп-2»	ЛИ-417 с чувствительной поверхностью Ø 18 мм		ВК-29 с диагональю кинескопа 50 см для наблюдения изображения, остальное то же, что в ПТУ-38	Передающая камера КТП-68-2, Ø 140×227 мм, не более 2,6 кг Блок канала УВ-103, 215×430×515 мм, не более 22 кг Пульт управления ПУ-82, 83×232×320 мм, не более 3,2 кг

Продолжение табл. 11

Наименование, тип, шифр установки	Преобразователь излучения, размеры	Передающая телевизионная трубка	Приемник телевизионного изображения	Габариты, масса
				Видеоконтрольное устройство ВК-29, 460×491×410 мм, не более 37 кг
				Видеоконтрольное устройство КН-23 с фотоприставкой, 267×240×870 мм, не более 21 кг
«Дефектоскоп-1»	ЛИ-423 с чувствительной поверхностью ⌀ 90 мм			Передающая камера КТП-68-1, ⌀ 140×355 мм, не более 4,2 кг, остальное то же
«Дефектоскоп»	ЛИ-447 с чувствительной поверхностью диаметром 150 мм			Передающая камера КТП-68, ⌀ 220×445 мм, не более 6 кг, остальное то же
«Интроскоп»	Сцинтилляционный монокристаллический экран: ⌀ 150 и 200 мм	Изокон ЛИ-801	То же, что и в установке типа Дефектоскоп	Передающая камера КТП-62, 210×140×580 мм, 16 кг, блок канала УВ-97, 430×215×515 мм, не более 25 кг. Пульт управления ПУ-76, 232×83×320 мм, не более 3 кг, остальное то же, что и в установках типа Дефектоскоп
Рентгенотелевизионный интроскоп: РИ-10Т	⌀ 80 мм	Суперортикон или изокон	Телевизионный приемник с кинескопом: 35ЛК6Б	Пульт управления 700×700×1300 мм. 120 кг
РИ-60ТЭ	⌀ 80 мм	Суперортикон ЛИ-217	50ЛК2Б	Входной преобразующий блок, ⌀ 220 мм, длиной 100 мм, массой 25 кг Масса 150 кг

РАДИОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ (РАДИОМЕТРИЯ)

Радиометрический метод контроля основан на регистрации и измерении излучения за исследуемым объектом с использованием в качестве детекторов ионизационных камер, счетчиков — газоразрядных (пропорциональных, Гейгера—Мюллера), полупроводниковых, сцинтилляционных и других регистраторов. В отличие от радиографического и радиоскопического методов контроля, при которых контролируемый объект просвечивается широким пучком ионизирующего излучения, при радиометрическом методе контроля (рис. 4) объект просвечивается узким пучком излучения. Узкий (коллимированный) пучок рентгеновского, тормозного или гамма-излучения перемещается по контролируемому объекту,

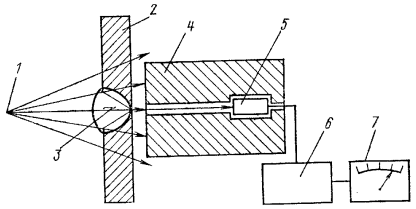


Рис. 4. Схема контроля радиометрическим методом:
1 — источник излучения; *2* — сварная деталь; *3* — дефект; *4* — коллиматор; *5* — детектор; *6* — усилитель; *7* — регистрирующее устройство

последовательно просвечивая все его участки. Пройдя через контролируемый объект, излучение регистрируется детектором, и на выходе последнего образуется электрический сигнал, величина которого пропорциональна интенсивности излучения, падающего на детектор (счетчик). Электрический сигнал (изменение амплитуды выходного сигнала) фиксируется регистрирующим устройством. В качестве таких устройств применяют миллиамперметр, осциллограф, механический счетчик отдельных импульсов, самопишущий потенциометр и т. д. Если в материале просвечиваемого изделия будет дефект, например непровар, то регистрирующее устройство отметит возрастание интенсивности излучения. В зависимости от применяемого регистрирующего устройства наличие дефекта может отмечаться: отклонением стрелки прибора, записью на самопишущем приборе, срабатыванием реле, приводящего в действие исполнительный механизм, который отмечает на изделии дефектные участки, и т. д. При радиометрическом методе контроля применяют радиоактивные источники бета- и гамма-излучения, рентгеновские аппараты и ускорители заряженных частиц, главным образом бетатроны. Источники излучения выбирают в зависимости от характеристик излучения и материала контролируемого изделия (табл. 12). Рентгеновское и тормозное излучение ускорителей заряженных частиц можно использовать для широкого

12. **Таблица материалов, контролируемых радиометрическим методом**

Сплавы на основе железа, мм	Сплавы на основе алюминия, мм	Источники излучения
1—150	5—500	Рентгеновские установки с напряжением 40—1000 кВ
1—200	5—1000	Радиоактивные источники из ^{170}Tm, ^{192}Ir, ^{137}Cs, ^{60}Co
50—500	150—200	Ускорители на энергию 6—35 МэВ

диапазона контролируемых толщин. Конкретный тип источника устанавливают из условия $\mu d = 1 \div 2$ (где μ — линейный коэффициент рентгеновского, тормозного, гамма- или бета- излучения; d—толщина контролируемого изделия) и уточняют в зависимости от интенсивности регистрируемого излучения, погрешности регистрирующей аппаратуры и других параметров.

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ РАДИАЦИОННЫХ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ

Области применения радиационных методов в зависимости от энергии излучения, толщины и плотности контролируемых материалов приведены в табл. 2, 3, 4, 10, 12. Для каждого конкретного случая контроля качества сварного соединения (изделия) определяют энергию излучения, обеспечивающую необходимую производительность и надежность (выявляемость дефектов) контроля. В зависимости от энергии и интенсивности излучения (мощности экспозиционной дозы) выбирают соответствующие рентгеновские или гамма-аппараты, линейные ускорители, бетатроны, радиоскопические и другие установки.

Для просвечивания сварных соединений из материалов, не приведенных в табл. 2, 3, 4, 10, энергию излучения определяют по толщине данного материала, эквивалентной толщине материала, приведенного в таблице.

Эквивалентная толщина материалов для просвечивания излучением рентгеновских аппаратов и бетатронов

$$d_{\text{экв}} = \frac{\mu_{\text{т}}(E_{\text{эфф}})}{\mu(E_{\text{эфф}})} d_{\text{т}}, \qquad (1)$$

где $E_{\text{эфф}}$ — эффективная энергия излучения; $\mu(E_{\text{эфф}})$ и $d_{\text{экв}}$ — линейный коэффициент ослабления излучения и эквивалентная толщина для материала, не приведенного в табл. 2, 3, 4, 10, 12; $\mu_{\text{т}}(E_{\text{эфф}})$ и $d_{\text{т}}$—линейный коэффициент ослабления излучения и контролируемая толщина материала, приведенного в табл. 2, 3, 4, 10, 12.

Эффективную энергию определяют по следующим правилам. Для рентгеновского излучения с напряжением до 1000 кВ вдали от скачков фотоэлектрического поглощения $E_{\text{эфф}}$ в килоэлектроновольтах численно равна $^2/_3$ максимального напряжения на рентгеновской трубке;

для тормозного излучения бетатронов

$$E_{\text{эфф}} = \frac{1}{2} E \text{ при } E \leqslant 10 \text{ МэВ}; \qquad (2)$$

$$E_{\text{эфф}} = \frac{1}{3} E \text{ при } E > 10 \text{ МэВ}, \qquad (3)$$

где E — энергия ускоренных в бетатронах электронов.

При просвечивании излучением радиоактивных источников эквивалентная толщина материалов

$$d_{\text{экв}} = \frac{\rho_{\text{т}}}{\rho} d_{\text{т}}, \qquad (4)$$

где $d_{\text{экв}}$ и ρ — толщина и плотность материала, не приведенного в табл. 2, 3, 4, 10, 12;

$d_{\text{т}}$ и $\rho_{\text{т}}$ — толщина и плотность материала, приведенного в табл. 2, 4, 10.

Линейный коэффициент ослабления излучения для сложных веществ

$$\mu = \left[\frac{\mu_1}{\rho_1}\eta_1 + \frac{\mu_2}{\rho_2}\eta_2 + \cdots + \frac{\mu_n}{\rho_n}\eta_n\right]\rho, \qquad (5)$$

где μ_1, μ_2, ..., μ_n — линейные коэффициенты ослабления излучения 1-м, 2-м, ..., n-м элементом, входящим в состав сложного вещества; ρ_1, ρ_2, ..., ρ_n — плотность 1-го, 2-го, ..., n-го элемента, входящего в состав сложного вещества; η_1, η_2, ..., η_n — относительная массовая доля 1-го, 2-го, ..., n-го элемента, входящего в состав сложного вещества; ρ — плотность сложного вещества.

ПРОСВЕЧИВАНИЕ СВАРНЫХ (И ПАЯНЫХ) СОЕДИНЕНИЙ

С помощью радиационных методов дефектоскопии в сварных соединениях, выполненных сваркой плавлением, можно обнаружить трещины, непровары, поры, рыхлоты, включения металлические и неметаллические, подрезы, проплавы, прожоги, смещение кромок, утяжки; в сварных соединениях, выполненных точечной и шовной сваркой, — трещины, непровары (при резко выраженной неоднородности литой зоны), поры, включения металлические и неметаллические, выплески; в паяных соединениях — трещины, локальное отсутствие припоя (непропай), вытекание припоя из зоны пайки, поры, инородные включения.

Сварные соединения различных изделий и конструкций просвечивают рентгеновским, тормозным и гамма-излучением по типовым схемам, показанным на рис. 5. Швы стыковых соединений без скоса кромок и с отбортовкой двух кромок просвечивают, как показано на рис. 5, *а* и *б*. На рис. 5, *в* дана схема просвечивания швов стыковых соединений с разделкой кромок. В случаях, оговоренных техническими условиями, допускается просвечивание тех же швов с направлением оси пучка по скосам кромок (рис. 5, *г*). Швы стыковых соединений также можно просвечивать с направлением излучения, обратным показанному на рис. 5, *а—г*, и с расположением кассеты с пленкой с другой стороны шва. Швы угловых соединений с отбортовкой просвечивают по схеме, приведенной на рис. 5, *д*. На рис. 5, *е* и *ж* дана схема просвечивания швов угловых соединений без скоса кромок и со скосом двух кромок. Допускается также просвечивание по рис. 5, *е II*. Швы тавровых соединений без скоса кромок просвечивают по схеме на рис. 5, *з* под углом 45° к полке тавра. Швы тавровых соединений с односторонним и двусторонним скосом кромок просвечивают с направлением оси пучка под углом 45° к полке тавра (рис. 5, *и* и *кI*). В случаях, оговоренных техническими условиями, эти швы можно просвечивать по схемам на рис. 5, *иII* и *кII*. Швы соединений внахлестку просвечивают по схемам на рис. 5, *лII* и *м* под углом 45°. Допускается также просвечивание с направлением излучения перпендикулярно к плоскости листа (рис. 5, *лI*). На рис. 5, *н* и *о* показаны схемы просвечивания сварных соединений, полученных точечной и шовной сваркой. Швы в двутавровых и крестообразных конструкциях просвечивают по схемам, показанным на рис. 5, *п*. Швы в коробчатых конструкциях, форма которых не позволяет поместить внутри их кассету с пленкой или источник излучения, просвечивают при установке пленки с наружной стороны шва и в направлении излучения через две стенки под углом к оси шва изделия α (рис. 5, *рI*). Если кассету можно ввести внутрь коробчатой конструкции, просвечивание ведут по схеме, показанной на рис. 5, *рII*. Кольцевые и продольные швы в цилиндрических изделиях просвечивают при установке источника излучения внутри изделия или снаружи (рис .5,*с*, *т*). Кольцевые и продольные швы в изделиях, форма которых не позволяет поместить внутри их источник излучения или кассету с пленкой, просвечивают по схеме, приведенной на рис. 5, *сII*. Ось пучка направлена через две стенки под углом к вертикальной оси шва α. Просвечивание сварных стыков трубчатых и коробчатых конструкций через две стенки (рис. 5, *рI* и *сII*), во избежание наложения на снимке изображений верхнего и нижнего участков шва, следует производить под углом к плоскости, проходящей через сварной стыковой шов. Величина этого угла определяется в соответствии с ГОСТ 7512—75.

Кольцевые швы в цилиндрических или сферических изделиях можно просвечивать по всей длине одновременно согласно схеме на рис. 5, *т*. Кассеты должны располагаться так, чтобы пленки на границе участков перекрывались в соответствии с ГОСТ 7512—75.

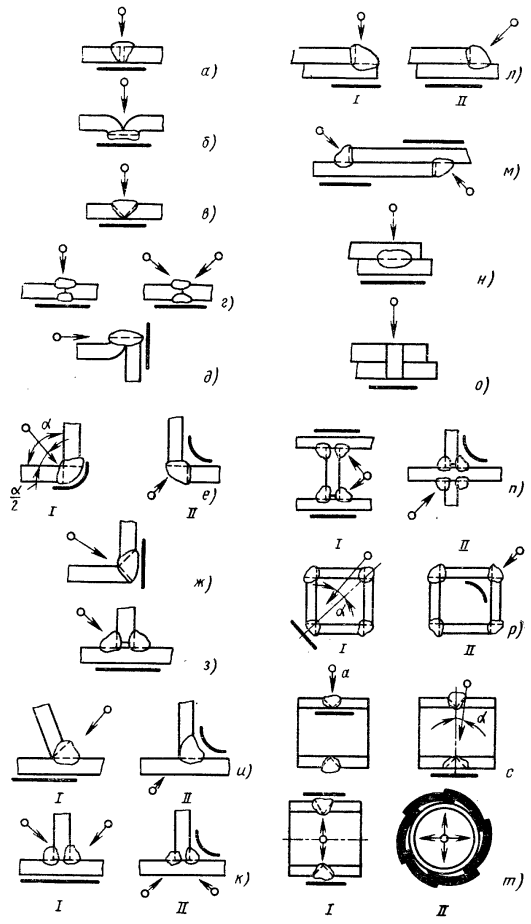


Рис. 5. Типовые схемы просвечивания сварных соединений:
O→ направление оси пучка излучения, проходящего через середину контролируемого участка шва; ——— кассета с пленкой

13. Характерные размеры дефектов в направлении просвечивания, (в мм), выявляемых по радиографическим снимкам

Тип выявляемого дефекта	Толщина материала, мм		
	2,5	10,0	20,0
Сплавы на основе железа и титана			
Трещины и непровары с шириной раскрытия 0,025 мм	0,1	0,2	0,3
Неметаллические включения и включения вольфрама, газовые поры	0,25	0,3	0,5
Сплавы на основе алюминия и магния			
Трещины и непровары с шириной раскрытия 0,025 мм	0,2	0,3	0,4
Неметаллические включения, газовые поры	0,3	0,5	1,0

Примечание. Выявление трещин определено при направлении просвечивания, составляющем с плоскостью раскрытия дефекта угол не более 10—15°.

При выборе схемы просвечивания необходимо помнить, что трещины и непровары выявляются лишь в том случае, если плоскости их раскрытия близки или совпадают с направлением просвечивания (табл. 13).

Максимальная производительность радиационно-дефектоскопического контроля достигается при оптимальном применении средств механизации и автоматизации контрольных операций, разрабатываемых с учетом особенностей контролируемых изделий и условий работы.

Электрооборудование и установки, используемые при радиационно-дефектоскопическом контроле, должны удовлетворять требованиям действующих «Правил устройства электроустановок», при их эксплуатации должна быть обеспечена безопасность работ в соответствии с требованиями «Правил технической эксплуатации установок потребителей» и «Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей», утвержденных Госэнергонадзором 12 апреля 1969 г. Радиационная безопасность обеспечивается строгим соблюдением «Основных санитарных правил работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений ОСП-72», утвержденных Главным санитарным врачом СССР 10 апреля 1972 г., «Норм радиационной безопасности НРБ-76», «Правил безопасности при транспортировании радиоактивных веществ ПБТРВ-73 № 1139—73», утвержденных Главным Государственным санитарным врачом СССР 27 декабря 1973 г.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Оценку качества и разбраковку сварных деталей (соединений), узлов и изделий по результатам радиационных методов контроля необходимо производить в соответствии с требованиями технических условий на изготовление и приемку контролируемых изделий и производственных инструкций по сварке (пайке) и контролю сварных соединений.

При оценке качества и разбраковке сварных изделий учитывают влияние технологических дефектов на механические (эксплуатационные) свойства контролируемых деталей. Методы оценки влияния дефектов на эксплуатационные свойства контролируемых объектов должны включать характеристику влияния дефектов на прочность деталей в связи с чувствительностью швов сварного и па-

яного соединений к дефектам, расположением и ориентировкой их в поле напряженного состояния и условиями работы (режим, степень и длительность нагрузки, влияние среды, характер и концентрация напряжений и т. д.).

Наиболее опасны сильно вытянутые и острые по очертаниям дефекты, менее опасны дефекты округлой формы. Опасной ориентировкой дефекта является такая, при которой наибольшее растягивающее напряжение действует перпендикулярно к направлению вытянутого дефекта, менее опасной — такая, при которой растягивающие напряжения действуют параллельно направлению дефекта.

При статическом нагружении сварного соединения влияние дефектов будет наименьшим. В случае повторного нагружения с ограниченным числом циклов влияние дефектов более опасно. При длительных повторных нагрузках опасность сильно возрастает. При симметричных циклах опасность обычно наибольшая; с ростом асимметрии цикла она уменьшается. Влияние дефектов увеличивается с удлинением времени работы сварного соединения в напряженном состоянии и особенно в условиях коррозионного, радиационного, температурного воздействия и других факторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Воробьев В. А., Горбунов В. И., Покровский А. В.** Бетатроны в дефектоскопии. М., Атомиздат, 1973. 176 с.

2. **Добромыслов В. А., Румянцев С. В.** Радиационная интроскопия. М., Атомиздат, 1972. 352 с.

3. **Контроль** качества сварки/В Н. Волченко, А. К. Гурвич, А. Н. Майоров и др. М., Машиностроение. 328 с.

4. **Неразрушающие** методы контроля сварных соединений./С. В. Румянцев, В. А. Добромыслов, О. И. Борисов, Н. Т. Азаров. М., Машиностроение, 1976. 336 с.

5. **Радиоизотопная** дефектоскопия./А. Н. Майоров, С. В. Мамиконян, Л. И. Косарев, В. Г. Фирстов. М., Атомиздат, 1976. 208 с.

6. **Румянцев С. В.** Радиационная дефектоскопия, 2-ое изд. М., Атомиздат, 1974. 512 с.

7. **Тюфяков Н. Д., Штань А. С.** Основы нейтронной радиографии. М., Атомиздат, 1975, 256 с.

8. **Электрорадиография**/И. П. Варанецкас, Р. А. Каваляускас, А. И. Каминскас, Ю. К. Ракаускас. М., Атомиздат, 1974. 264 с.

Глава 15

АКУСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ

Различают две группы акустических методов: 1) методы ультразвуковой дефектоскопии и структуроскопии, основанные на исследовании процесса распространения ультразвуковых упругих колебаний, специально вводимых в контролируемое соединение [3, 6, 14]; 2) методы акустической эмиссии, основанные на исследовании упругих волн, возникающих в контролируемом соединении в момент образования или развития несплошностей [11].

Для излучения и регистрации упругих колебаний применяют электроакустические [3] или электромагнитоакустические [13] преобразователи.

В практике контроля качества сварных соединений используют теневой, зеркально-теневой или эхо-методы ультразвуковой дефектоскопии (УЗД) и относительный метод ультразвукового структурного анализа (УЗС) на базе электроакустических преобразователей, размещенных в искателях.

При УЗД признаками обнаружения дефекта являются: для теневого метода — уменьшение дефектом интенсивности (амплитуды) ультразвуковой волны, прошедшей через соединение, от излучающего (И) искателя к приемному (П); для зеркально-теневого — уменьшение дефектом интенсивности (амплитуды) ультразвуковой волны, отраженной от противоположной (донной) поверхности соединения (донного сигнала); для эхо-метода — прием искателем волны, отраженной от дефекта в соединении (прием эхо-сигнала).

При УЗС признаком обнаружения дефекта является превышение ослабления ультразвуковой волны, прошедшей через соединение, над соответствующим ослаблением в контрольном образце [12].

УЗД сварных соединений выполняют в соответствии с ГОСТ 14782—76 [1].

При УЗД и УЗС в основном используют продольные (c_l) и поперечные (c_t) ультразвуковые волны с частотой колебаний $f = 0{,}5 \div 5{,}0$ МГц, реже — нормальные волны [3, 14].

РАСПРОСТРАНЕНИЕ, ОТРАЖЕНИЕ И ПРЕЛОМЛЕНИЕ УПРУГИХ ВОЛН

Скорость c распространения волны в полубезграничной среде определяется физическими свойствами среды и типом волны ($c_t \approx 0{,}55\, c_l$), а длина волны λ — частотой f : $\lambda = c/f$. Значения c и λ, плотности ρ и характеристических импедансов ρc для некоторых сред даны в табл. 1.

Амплитуда U плоской волны падает с увеличением расстояния r от излучателя вследствие затухания по закону

$$U = U_0 \exp(-\delta r), \qquad (1)$$

где δ — коэффициент затухания, Нп/м.

Из (1) можно определить δ, если известно отношение U/U_0 и r. В практике амплитуды U и U_0 измеряют относительно некоторого постоянного уровня U_* и выражают амплитуды N в децибелах (дБ): $N = 20 \lg U/U_*$, $N_0 = 20 \lg U_0/U_*$. Отношение U/U_0, выраженное в дБ, составляет $\Delta N = N - N_0$. Для перевода относительных единиц в дБ можно пользоваться номограммой (рис. 1), сопоставляя значения на шкалах с одинаковым номером.

1. Акустические характеристики некоторых сред

Вещество	Скорость волны $\cdot 10^{-3}$, м/с		Длина волны λ, мм, при частоте 2,5 МГц		Плотность ρ, г/см³	Характеристический импеданс для волны $\rho c \cdot 10^{-6}$, г/(см²·с)	
	продольной	поперечной	продольной	поперечной		продольной	поперечной
Бериллий	12,5	8,7	5,0	3,48	1,85	2,3	1,33
Вольфрам	5,46	2,87	2,17	1,15	19,1	10,4	5,5
Вода	1,49	—	0,59	—	1,0	0,149	—
Воздух	0,33	—	0,13	—	0,0013	0,00004	—
Глицерин	1,923	—	0,78	—	1,261	0,242	—
Дюралюминий	6,26	3,08	2,5	1,23	2,7	1,7	0,83
Кварцевое стекло	5,57	3,515	2,22	1,4	2,6	1,45	0,91
Магний	5,79	3,1	2,31	1,24	1,74	1,01	0,58
Масло трансформаторное	1,425	—	0,57	—	0,9	0,128	—
Медь	4,7	2,26	1,89	0,91	8,9	4,18	2,05
Плексиглас	2,67	1,121	1,06	0,45	1,18	0,32	0,132
Полистирол	2,35	1,12	0,94	0,45	1,06	0,25	0,119
Сталь	5,85	3,26	2,36	1,3	7,8	4,55	2,52
Титан	6,0	3,5	2,4	1,4	4,5	2,7	1,58
Шлаковые включения (спекшийся сварочный флюс АН-348)	6,0	—	2,4	—	3,3	1,98	—
Фторопласт	1,35	—	0,54	—	2,2	0,3	—
Эпоксидная смола твердая	2,5	1,1	1,0	0,4	1,2	0,3	0,132

Иногда коэффициент затухания выражают в отрицательных дБ/м, обозначая через δ^*; $\delta^* = 8{,}686\,\delta$.

При измерении δ_t^* для поперечной волны по схеме, приведенной на рис. 2,

$$\delta_t^* \approx \frac{1}{2r}(|N_{\text{I}} - N_{\text{II}}| - 6), \qquad (6)$$

r должно быть более 50 мм. Для низколегированных сталей $\delta_t \approx 0{,}17$ Нп/м при $f = 2{,}5$ мГц.

Коэффициент затухания складывается из коэффициентов поглощения и рассеяния. В металлах величина δ в основном определяется рассеянием на кристаллах и зависит от соотношения $\bar{D}/\lambda$, где $\bar{D}$ — средняя величина зерна (рис. 3). В сварных соединениях значение δ, как правило, максимально в переходной зоне (зоне термического влияния) и возрастает с увеличением f.

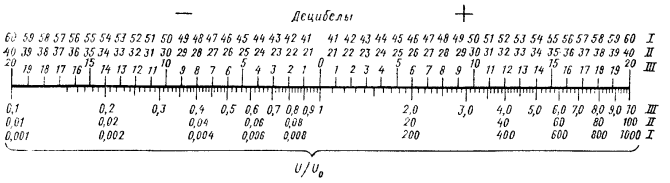


Рис. 1. Номограмма перевода децибел в относительные величины

При падении волны нормально на границу двух сред отраженная и прошедшая волны будут того же типа, что и падающая; коэффициенты отражения $\tilde{R}$ и прохождения $\tilde{D}$ по энергии равны (табл. 2):

$$\tilde{R} = \left(\frac{\rho_1 c_1 - \rho_2 c_2}{\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2}\right)^2; \quad \tilde{D} = \left(\frac{4\rho_1 c_1 \rho_2 c_2}{\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2}\right)^2.$$

При падении плоской ультразвуковой волны под углом β на границу раздела двух твердых сред в общем случае возникают одновременно две отраженные (c_{l1}, c_{t1}) и две преломленные (c_{l2}, c_{t2}) волны, углы отражения β_l, β_t и преломления α_l, α_t которых связаны с углом β соотношением Снеллиуса (рис. 4, *а*)

$$\frac{\sin\beta}{c_{l1}\,(t1)} = \frac{\sin\beta_l}{c_{l1}} = \frac{\sin\beta_t}{c_{t1}} = \frac{\sin\alpha_l}{c_{l2}} = \frac{\sin\alpha_t}{c_{t2}}. \qquad (3)$$

Если одна из сред является жидкостью или газом, то поперечные волны в ней отсутствуют.

Значения углов β падения волны, при которых исчезают волны тех или иных типов, называют критическими

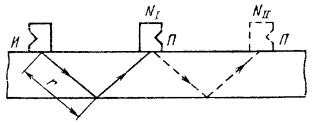


Рис. 2. Схема расположения искателей при измерении коэффициента затухания поперечных волн:
И — излучающий искатель; *П* — приемный искатель

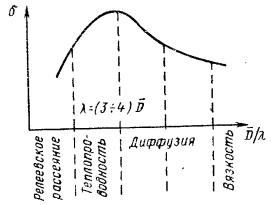


Рис. 3. Зависимость затухания ультразвука от среднего размера $\bar{D}$ кристаллов поликристаллических тел и основные причины, обусловливающие затухание

($\beta_{кр}$) (рис. 4, *б* и *г*). Если $c_{l1} < c_{l2}$, то при $\beta = \beta_{кр1}$ (первый критический угол) во второй среде продольная волна превращается в неоднородную (головную) волну ($\alpha_l = 90°$); при $\beta = \beta_{кр2}$ (второй критический угол) преломленная поперечная волна превращается в неоднородную ($\alpha_t = 90°$):

$$\beta_{кр1} = \arcsin c_{l1}/c_{l2}; \quad \beta_{кр2} = \arcsin c_{t1}/c_{t2}. \qquad (4)$$

Для границы плексиглас — сталь $\beta_{кр1} \approx 27°$, $\beta_{кр2} \approx 55°$.

2. Значения $\tilde{R}$ для продольных волн

Контролируемый металл	$\tilde{R}$ на границе металла				
	с воздухом	с водой	с маслом минеральным	с вольфрамом	с шлаком (спекшийся флюс) АН-348
Дюралюминий	1	0,72	0,74	0,70	—
Сталь	1	0,88	0,89	—	0,15

Максимум интенсивности головной волны при $\beta \approx \beta_{кр1}$ соответствует лучу, составляющему угол ~9° с поверхностью. Головная волна при распространении рассеивается в виде поперечной (рис. 4, *б*).

При наклонном падении волны коэффициенты $\tilde{R}$ и $\tilde{D}$ зависят также от угла β [6]. В случае падения поперечной волны при $\beta = \beta_{кр3}$ отраженная продольная волна трансформируется в неоднородную ($\beta_l \approx 90°$), называемую волной скольжения; $\beta_{кр3} = \arcsin c_{t1}/c_{l1}$.

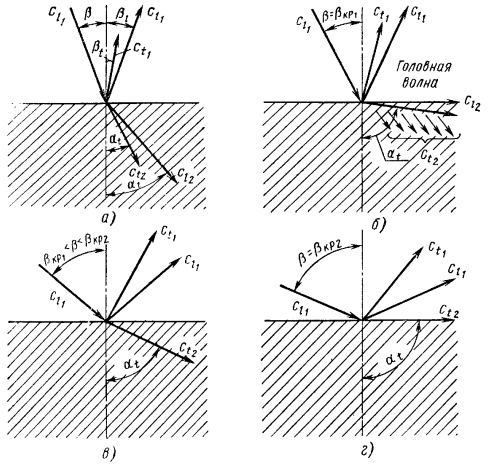


Рис. 4. Схемы отражения и преломления продольной волны на границе двух твердых сред ($c_{l1} < c_{t2}$)

Для стали $\beta_{кр3} = 33°$. Волна скольжения распространяется и рассеивается в первой среде так же, как головная во второй.

Если две среды разделены плоскопараллельным слоем, то коэффициенты отражения и прохождения зависят также от соотношения толщины d слоя и длины волны λ в нем [3]. При $f = 2{,}5$ МГц трещина в стали, заполненная водой или минеральным маслом, будет отражать до 90% энергии падающих на нее продольных волн, если раскрытие трещины $d \geqslant 0{,}01$ мм.

Амплитуда волны, отраженной от границы раздела двух сред в направлении к излучателю, зависит от угла падения волны на границу и от соотношения неровностей отражающей поверхности к длине падающей волны (рис. 5). Большинство дефектов в сварных соединениях вызывают диффузное отражение распространяющихся в металле ультразвуковых волн, применяемых при дефектоскопии.

Нормированную функцию $\Phi_д$ (θ), описывающую поле ультразвуковой волны, отражаемой дефектом в направлении к излучателю, называют индикатрисой обратного рассеяния. Индикатриса рассеяния зависит от размеров b, l, формы и ориентации дефекта, длины волны λ и шероховатости отражающей поверхности. Отражатели (дефекты), для которых $\Phi_д$ (θ) = 1, образуют группу ненаправленных отражателей; к ним относятся отражатели сферической и цилиндрической

формы, а также плоские отражатели, размеры которых близки к длине волны (b, $l \leqslant \lambda$).

Если отражатель в твердом теле образует двугранный угол (например, угол листа в сварном соединении), грани которого существенно больше λ, то вследствие трансформации падающей волны на гранях индикатриса рассеяния может иметь ряд лепестков.

Оптимальным по выявляемости отражателем является дисковый с зеркальной поверхностью, ориентированной нормально к акустической оси ультразвукового

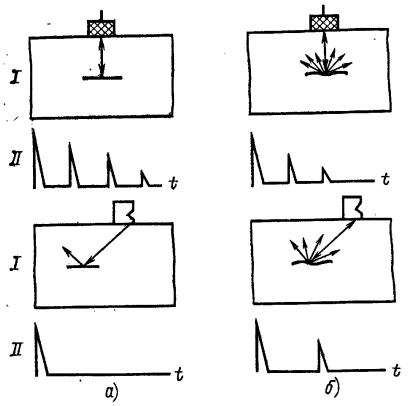


Рис. 5. Схемы отражения: зеркального (*а*) и диффузного (*б*):
I — схемы распространения УЗК; *II* — распределение во времени *t* ультразвуковых импульсов на преобразователе

пучка. В практике контроля отражающие свойства реального дефекта сопоставляют с отражающими свойствами дискового отражателя. Площадь дискового отражателя, нормального к акустической оси ультразвукового пучка, расположенного на той же глубине, что и выявленный дефект, и дающий эхо-сигнал такой же амплитуды, что и дефект, называют эквивалентной площадью дефекта ($S_э$, мм²).

Эквивалентную площадь дефекта измеряют путем сопоставления максимальной амплитуды эхо-сигнала от дефекта с максимальной амплитудой эхо-сигнала от плоскодонных отверстий в контрольном образце, имитирующих дисковые отражатели различной площади, или рассчитывают, используя АРД- или SKH-диаграммы и стандартные образцы № 3 и № 2 (2А) соответственно [1, 3, 14]. Допускается вместо плоскодонных отверстий использовать угловые, сегментные и другие отражатели [1, 3].

ИЗЛУЧЕНИЕ И ПРИЕМ УПРУГИХ ВОЛН

При неразрушающем контроле для возбуждения и регистрации ультразвуковых волн используют пьезоэлектрические преобразователи в виде пластин из кварца, цирконата титаната свинца (ЦТС), титаната бария и др.

Преобразователь размещают в прямом искателе, возбуждающем в изделии продольную волну перпендикулярно к поверхности, или в наклонном искателе (призматическом), возбуждающем в зависимости от угла призмы β продольную, поперечную или головную волну под углом к поверхности или поверхностную волну.

Призму изготовляют из материала с малой скоростью и большим затуханием ультразвуковых колебаний (плексиглас, капролон, фторопласт, полистирол), что способствует гашению отраженной в призму волны.

Углы призм из плексигласа составляют: $\beta = 4 \div 9°$ при возбуждении (приеме) в сталях продольной волны; $\beta \approx 27°$ — головной волны; $\beta \approx 58°$ — поверхностной волны; $29° < \beta < 55°$ — поперечной волны.

Искатели включают по совмещенной или по раздельной, или по раздельно-совмещенной схемам (рис. 6) [3]. Последняя реализует преимущества первых двух схем [3].

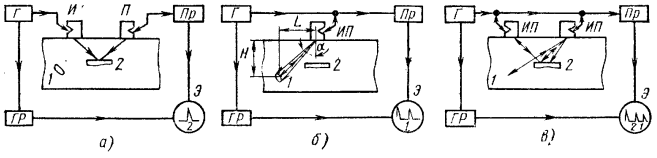


Рис. 6. Блок-схемы дефектоскопов, работающих по эхо-методу с включением искателей по схемам:

а — раздельной; *б* — совмещенной; *в* — раздельно-совмещенной; *Г* — генератор высокочастотных электрических импульсов; *Пр* — приемный тракт; *ГР* — генератор развертки; *Э* — индикатор (электронно-лучевая трубка); *1* *2* — дефекты

Два наклонных искателя, включенных по раздельной схеме и объединенных в одном корпусе, называют раздельно-совмещенным искателем (рис. 7) [14]. Для предотвращения передачи зондирующего импульса от излучающего преобразователя к приемному в таком искателе устанавливают экран. Искатели с углом $\beta = 4 \div 9°$ и $\beta \approx 29°$ часто выполняют раздельно-совмещенными (рис. 7).

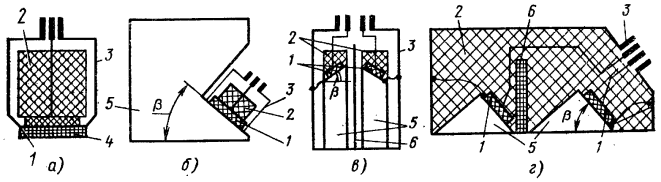


Рис. 7. Искатели:

а — прямой; *б* — наклонный; *в* — раздельно-совмещенный для возбуждения и приема продольных волн; *г* — то же, головных волн: *1* — пьезоэлектрический преобразователь; *2* — демпфер; *3* — корпус; *4* — протектор; *5* — призма; *6* — экран

Классификация искателей и их основные характеристики определены ОСТ 25391—73 [10].

Акустический контакт искателя с изделием обеспечивают заполнением контактирующей средой пространства между плоскостью искателя и поверхностью изделия (контактной поверхностью). В зависимости от толщины слоя контактирующей среды различают контактный, щелевой и иммерсионный способы акустического контакта [3]. При иммерсионном, в отличие от контактного и щелевого способов, толщина контактирующего слоя превышает половину длины волнового пакета в нем.

Вблизи излучателя, на участке длиной $r_б$ (ближняя зона), волна распространяется без расхождения, а амплитуда поля как вдоль оси пучка, так и по его сечению претерпевает осцилляции. При этом 80% энергии сосредоточено в пределах цилиндра, ограниченного контуром преобразователя.

В дальней зоне, расположенной за ближней, поле приобретает форму усеченного конуса с углом $\varphi_р$:

$$r_б \approx d^2/\lambda = a^2 f/c; \tag{5}$$

$$\varphi_р \approx \arcsin 0{,}61\lambda/a = \arcsin 0{,}61 c/af. \tag{6}$$

Прямую, соединяющую в дальней зоне точки поля с максимальной амплитудой, и продолжение ее в ближней зоне называют акустической осью искателя. Точка пересечения акустической оси с рабочей гранью искателя образует точку выхода луча.

Угловое распределение амплитуды поля в дальней зоне описывается нормированной диаграммой направленности $\Phi(\varphi)$. Угол φ отсчитывают от акустической оси, а за единицу принимают амплитуду поля на ней:

$$\Phi(\varphi) = \left| \frac{2J_1\left(a\frac{2\pi}{\lambda}\sin\varphi\right)}{\left(a\frac{2\pi}{\lambda}\sin\varphi\right)} \right| = \left| \frac{2J_1(x)}{x} \right|, \tag{7}$$

где J_1 — символ цилиндрической функции Бесселя первого порядка.

Графическое представление функции (7), по которому может быть рассчитана диаграмма направленности для заданного соотношения a/λ, дано в [3, 11]. Центральная часть диаграммы в пределах углов φ, соответствующих $0 \leqslant \Phi(\varphi) \leqslant 1$, образует основной лепесток, в котором сосредоточено ~80% излучаемой энергии.

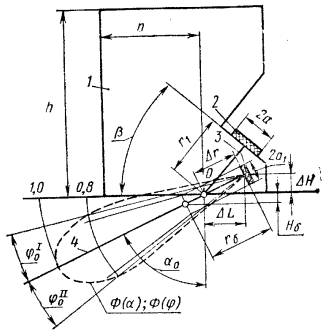


Рис. 8. Схема расчета поля наклонного искателя:

1 — призма с ловушкой; *2* — пьезоэлемент; *3* — мнимый излучатель; *4* — акустическая ось; *n* — стрела искателя; r_1 — средний путь ультразвука в призме; α_0 — угол наклона акустической оси; *О* — точка выхода луча

Диаграмма направленности наклонного искателя будет задана, если даны диаграмма $\Phi(\alpha)$ в плоскости падения луча или $\Phi(\varphi)$ и угол наклона акустической оси α_0 (рис. 8), а также диаграмма $\Phi_г(\varphi)$ в плоскости, нормальной к плоскости падения луча.

Для поперечной волны диаграмма $\Phi(\varphi)$ сужается с увеличением произведения af до 20 мм·МГц и c_{l1}, а также с уменьшением β; она может быть рассчитана на ЭВМ по формулам работы [5] или определена экспериментально по методике, описанной в работе [3]; основной лепесток диаграммы $\Phi(\varphi)$ аппроксимируется выражением $\Phi(\varphi) \approx \cos(\pi\varphi/5\varphi_0)$, где φ_0 — половина угла раскрытия основного лепестка на уровне 0,8; определяется по графикам работы [3] или экспериментально по стандартному образцу № 2 (или 2А) [3].

Диаграмма $\Phi_г(\varphi)$ не зависит от угла β и может быть рассчитана по выражению (7).

В практике дефектоскопии для приближенного расчета поля наклонных искателей действительный преобразователь радиусом a, расположенный в материале призмы на расстоянии r_1 от границы ее с металлом, заменяют мнимым преобразова-

3. Размеры и параметры типовых наклонных искателей

Параметры искателя		Размеры призмы			a	Параметры искателя при контроле изделий из стали						
f, МГц	β, градусы	h	a	r_1		α_0	φ_0^{I}	φ_0^{II}	$H_б$	Δl	ΔH	ΔL
		мм				градусы			мм			
1,8	40	55	24	13	9	50	2,4	3,5	14,5	9	5,8	6,9
	50	55	30	15	9	65	4,5	3,5	4,7	8	3,5	7,2
2,5	40	35	15	10	6	50	2,5	3,5	7,7	7	4,5	5,3
	50	35	15	12	6	66	4,7	3,7	2,5	6,5	2,7	5,9
	53	35	14	11	6	70	5,0	4,5	1,6	5	1,7	4,7
5,0	50	20	12	12	4	65	3,5	3,0	7,8	6,5	2,7	5,9
	53	20	5	10	4	70	4,5	3,0	1,3	4,5	1,5	4,2

телем в виде эллипса с радиусами a и a_1, расположенным в контролируемом металле на расстоянии Δr от упомянутой границы (рис. 8) [3, 14]:

$$a_1 \approx a\frac{\cos\alpha_0}{\cos\beta}; \quad \Delta r = r_1\frac{c_{l1}}{c_{t2}}\frac{\cos\alpha_0}{\cos\beta};$$

$$r_б = \frac{a_1^2 f}{c_{t2}}; \quad H_б = (r_б - \Delta r)\cos\alpha_0;$$

$$\varphi_р \approx \arcsin 0{,}61\frac{c_{t2}}{a_1 f}; \quad \varphi_0 \approx \arcsin 0{,}21\frac{c_{t2}}{a_1 f}.$$

В табл. 3 приведены размеры типовых искателей с призмой из органического стекла и их параметры.

Диаграмма направленности искателя в режиме приема аналогична диаграмме Ф (φ) в режиме излучения. Диаграмма направленности в режиме излучение — прием соответствует $Ф^2$ (φ).

Диаграмма направленности определяет форму огибающей амплитуд эхо-сигналов от отражателя, полученной в процессе перемещения искателя. Угол между нормалью к поверхности изделия и линией, соединяющей центр ненаправленного отражателя с точкой выхода луча при положении искателя, соответствующем максимуму эхо-сигнала, называют углом ввода луча и обозначают α (рис. 9).

Угол α в общем случае меньше α_0. Разница $\Delta\alpha = \alpha_0 - \alpha$ тем больше, чем больше затухание УЗК на пути до отражателя; эта разница определяется по номограмме [3]. В практике, за исключением контроля швов большой толщины, принимают $\alpha \approx \alpha_0$. Угол α_0 в общем случае не равен углу α_c, рассчитываемому по выражению Снеллиуса: $\alpha_0 > \alpha_c$ при $\alpha_c < \alpha_{cm}$; $\alpha_0 = \alpha_c$ при $\alpha_c \approx \alpha_{cm}$ и $\alpha_0 < \alpha_c$ при $\alpha_c > \alpha_{cm}$, где α_{cm} — угол, при котором значение D_{lit_2} максимально.

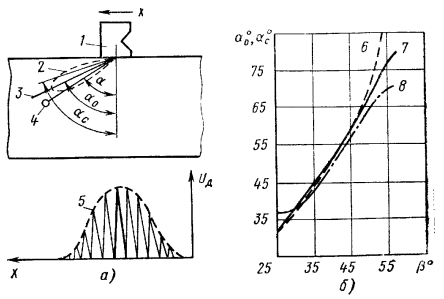


Рис. 9. Схема (*а*) и зависимости (*б*), иллюстрирующие соотношение углов α_c, α_0 и α:

1 — искатель; *2* — основной лепесток диаграммы направленности; *3* — акустическая ось; *4* — ненаправленный отражатель; *5* — огибающая амплитуд эхо-сигналов; *6* — α_c (β); *7* — α_0 (β) при af = = 15 мм·МГц; *8* — α_0 (β) при af = 5 мм·МГц

Угол α_0 рассчитывают [3, 5] или измеряют по стандартному образцу № 2 (или № 2А) [3]. Угол ввода луча выбирают таким, чтобы обеспечить прозвучивание шва акустической осью прямого или однократно отраженного луча.

АППАРАТУРА

В комплект аппаратуры входят: ультразвуковой импульсный дефектоскоп; искатели; стандартные и испытательные образцы; вспомогательные приспособления и устройства для соблюдения параметров сканирования.

Ультразвуковые дефектоскопы. Функциональная схема дефектоскопа приведена на рис. 10. Возбудитель пьезопреобразователя генерирует высокочастотные электрические зондирующие импульсы, подаваемые на преобразователь искателя, импульсы синхронизации работы генератора развертки и глубиномера, а также импульсы экспоненциальной формы для автоматической регулировки ко-

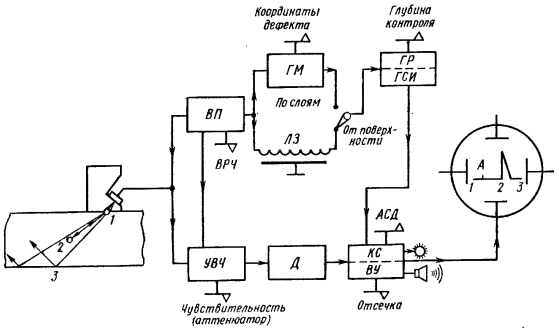


Рис. 10. Функциональная схема ультразвукового дефектоскопа:

ВП — возбудитель пьезопреобразователя; *ГМ* — глубиномер; *ГР* — генератор развертки, *ГСИ* — генератор селектирующих импульсов; *УВЧ* — усилитель высокой частоты; *Д* — детектор; *КС* — каскад совпадений; *ВУ* — видеоусилитель; *ЛЗ* — линия задержки; *А* — маркерный импульс глубиномера

эффициента усиления усилителя высокой частоты (УВЧ). Амплитуду и длительность этого импульса регулируют с помощью ручки временной регулировки чувствительности (ВРЧ). Введение системы ВРЧ способствует ослаблению перегрузки УВЧ при воздействии зондирующего импульса и уменьшает мертвую зону. Амплитуду продетектированных сигналов на выходе видеоусилителя с каскадом совпадений регулируют аттенюатором, используемым также для относительного измерения амплитуд эхо-сигналов, а в ряде дефектоскопов — и специальной ручкой «чувствительность». В детектор или в видеоусилитель обычно встраивают регулятор отсечки шумов (ручка «Отсечка»).

Видеоусилитель — каскад совпадений — предназначен для временной селекции эхо-сигналов, поступающих с детектора, и усиления их до величины, достаточной для наблюдения на экране электронно-лучевой трубки и срабатывания дополнительных индикаторов. Принцип временной селекции состоит в том, что видеоусилитель—каскад совпадений обычно закрыт и открывается лишь на время, в течение которого ожидаются эхо-сигналы от возможных дефектов, расположенных в выбранном для контроля слое. Время открытого состояния каскада совпадений определяется временем задержки $t_з$ и длительностью $t_с$ селектирующего импульса, вырабатываемого генератором напряжения развертки.

Длительность $t_с$ регулируется ручкой «Глубина контроля», а временное положение селектирующего импульса, т. е. время $t_з$ его задержки относительно зондирующего импульса, — временем задержки синхроимпульса в линии задержки ЛЗ при работе в режиме «От поверхности», равным времени прохождения ультразвука через призму искателя, или временем задержки того же импульса в глубиномере, устанавливаемым ручкой «Координаты дефекта». Применение двух режимов работы генератора напряжения развертки позволяет «рассматривать» на экране электронно-лучевой трубки лишь ту часть пути ультразвукового импульса, которая проходит через контролируемый участок шва.

Ручка «Координаты дефекта» снабжена шкалой, проградуированной в микросекундах для измерения времени распространения ультразвуковых колебаний до отражателя (дефекта), а также в миллиметрах для непосредственного отсчета координат отражателя при контроле искателями с различными углами ввода луча. Если контроль ведут в режиме «От поверхности», то на экране виден маркерный импульс глубиномера; для определения координат дефекта (времени распространения ультразвуковых колебаний до него) вращением ручки глубиномера совмещают маркерный импульс с эхо-сигналом от дефекта. Аналогично, пользуясь глубиномером, с помощью ручки «Глубина контроля» устанавливают величину контролируемого слоя.

При работе в режиме «По слоям» маркерный импульс совпадает с началом развертки и не виден на экране. В этом случае для измерения координат отражающей поверхности необходимо, вращая ручку «Координаты дефекта», подвести эхо-сигнал от дефекта к началу развертки. Дополнительные индикаторы (звуковой, световой) упрощают работу оператора и повышают надежность контроля. Порог срабатывания этих индикаторов устанавливается ручкой АСД. В табл. 4 приведены основные характеристики специализированных дефектоскопов.

Ультразвуковые структурные анализаторы. Для УЗС могут быть использованы типовые дефектоскопы, имеющие аттенюатор и глубиномер. В СССР для УЗС разработаны специальные приборы — структурные анализаторы типа ДСК-1, УС-10И, УС-11И и др. [12].

Испытательные и стандартные образцы. Испытательные (ИС) и стандартные (СО) образцы предназначены для настройки и поверки аппаратуры, а также для выбора параметров контроля.

ИС представляют собой образцы сварных соединений, в которых выполнены искусственные отражатели. ИС могут быть изготовлены из основного металла при условии, что его акустические свойства близки к акустическим свойствам металла шва. Качество поверхности ИС должно соответствовать качеству поверхности основного металла контролируемых соединений. При механической обработке ИС шероховатость поверхности должна соответствовать $Rz = 40$ мкм.

4. Основные характеристики ультразвуковых дефектоскопов, применяемых для контроля сварных соединений

Характеристики дефектоскопа	ДУК-13ИМ (СССР)	ДУК-66П (СССР)	Рельс-6 (СССР)	Unipan-510 (ПНР)
Частота ультразвука, излучаемого наклонными искателями, МГц	1,8; 2,5	1,8; 2,5; 5,0	1,8; 2,5; 5,0	0,5—10
Максимальная условная чувствительность по стандартному образцу № 1 при $\beta = 40°$ и $f = 2{,}5$ МГц, мм	45	45	50	50
Длительность развертки, мкс: минимальная максимальная	14 120	14±4 530	10 120	12 500
Динамический диапазон усилителя (по экрану трубки), дБ	6	10	15	20
Глубиномер	Подвижная метка	Подвижный строб-импульс	Подвижная метка	Отсчет по предварительно построенной на экране шкале
Режимы контроля	От поверхности По слоям	От поверхности По слоям	От поверхности По слоям	От поверхности
Дополнительные индикаторы	Телефонные наушники	Динамик	Телефонные наушники	Динамик, лампочка
Питание, В	~36/127/220; аккумулятор	~36/127/220; аккумулятор	~220; аккумулятор	~220; аккумулятор
Масса, кг	4	9 (с аккумулятором)	9 (с аккумулятором)	9,5

СО изготовляют из материала со строго регламентированными свойствами и по чертежам, утвержденным стандартами. В СССР в соответствии с ГОСТ 14782—76 применяют комплект из четырех СО [1].

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ

Основные параметры, определяющие достоверность результатов ультразвукового контроля, приведены в табл. 5. К основным параметрам относятся также параметры сканирования.

5. Основные параметры эхо-метода

Параметры контроля			Параметры аппаратуры		
Наименование	Условное обозначение	Единица	Наименование	Условное обозначение	Единица
Длина волны	λ	мм	Частота	f	МГц
Чувствительность: реальная предельная эквивалентная	— $S_п$ $K_э$	мм мм²	Чувствительность: условная по СО № 1 условная по СО № 2 эквивалентная	$K_у$ $K_у$ $K_э$	мм дБ мм
Угол ввода луча	α	град	Угол призмы	β	град
Направленность поля искателя	α_0 φ_0	град град	Размеры преобразователя	a	мм
Точность измерения координат (точность селектирования)	A	%	Погрешность глубиномера (системы селекции)	$A_г$	%
Мертвая зона	M	мм	Длительность: зондирующего импульса; реверберационных шумов из призмы	τ $\tau_р$	мкс мкс
Разрешающая способность	Δ	мм	Разрешающая способность	$T_р$	мкс
Длина пакета упругих колебаний	τ_c	мм	Длительность зондирующих импульсов	τ	мкс

Предельная чувствительность определяет минимальные размеры искусственного, оптимального с точки зрения выявляемости, отражателя (модели дефекта) на заданной глубине, который еще уверенно обнаруживается в изделии при данной настройке прибора. В качестве меры предельной чувствительности используют площадь $S_п$ отверстия с плоским дном, выполненным в испытательном образце и ориентированным перпендикулярно акустической оси искателя. Предельную чувствительность дефектоскопа с искателем определяют по СО № 2 или СО № 2А с использованием SKH-диаграммы или по испытательному образцу с сегментными или угловыми отражателями [6]. Для выравнивания предельной чувствительности по глубине контролируемого участка при поиске дефектов целесообразно задавать и настраивать чувствительность для глубины, соответствующей середине контролируемого участка.

Условную чувствительность дефектоскопа с искателем измеряют по СО № 1 или СО № 2. Условную чувствительность по СО № 1 выражают наибольшей глубиной (в миллиметрах) расположения отражателя, который еще уверенно обнаруживается при данной настройке прибора. Условную чувствительность по СО № 2 выражают разностью (в децибелах) между показанием аттенюатора при данной настройке прибора и показанием аттенюатора, соответствующим максимальному

ослаблению, при котором еще уверенно обнаруживается отверстие диаметром 6 мм на глубине 44 мм. Условные чувствительности по СО № 1 и СО № 2 могут быть сопоставлены экспериментально.

Угол ввода луча и направленность поля наклонного искателя определяют по СО № 2 или СО № 2А в зависимости от марки контролируемого соединения.

Точность измерения координат H и L при любом типе глубиномерного устройства характеризуется случайной и систематической погрешностями. Относительная случайная погрешность из-за неточности установки искателя в положение, соответствующее максимальной амплитуде эхо-сигнала от дефекта, зависит от натренированности оператора и не превышает 4%.

Систематическая погрешность алгебраически складывается из погрешности измерения интервала времени T, т. е. погрешности глубиномера, и погрешности, связанной с отклонением истинных значений α_i, c_t и $t_п$ от значений α_{i0}, c_{t0} и $t_{п0}$, принятых при расчете координат или построении глубиномерных устройств [3].

Погрешность измерения H в реальных условиях может достигать существенной величины (до 60%). Поэтому при контроле швов малой толщины определять координаты выявленных дефектов следует по развертке на ЭЛТ, систематически калибруя ее по испытательному образцу с сегментными или угловыми отражателями.

Систематическая ошибка измерения L существенно меньше ошибки измерения H и практически не превышает 5—15%.

При контроле швов средней толщины (25—150 мм) вероятность возникновения серьезных систематических ошибок мала. Эта вероятность вновь возрастает при контроле соединений большой толщины (более 150 мм) вследствие уменьшения угла ввода луча из-за затухания ультразвука на пути до дефекта. Величина уменьшения угла, позволяющая учесть ошибку, определяется по специальной номограмме или экспериментально [3].

Погрешность глубиномера обусловливается погрешностью измерения известного интервала времени между данными эхо-сигналами и определяется по СО № 1 или СО № 2.

Мертвая зона — область сварного соединения, прилегающая к контактной поверхности, дефекты в которой не выявляются при данной настройке дефектоскопа. Величина M наклонных искателей обусловливается длительностью зондирующего импульса и уровнем реверберационных шумов из призмы; уменьшается, при прочих равных условиях, с увеличением f и α. При контроле наклонным искателем величину M характеризуют минимальной глубиной расположения уверенно выявляемого дефектоскопом цилиндрического отражателя диаметром 2 мм и длиной более ширины ультразвукового пучка, выполненного в образце из контролируемого металла. Величина M может быть проверена по СО № 2 или СО № 2А.

Разрешающая способность (лучевая) $T_р$ при данной настройке прибора характеризуется наименьшим временем между эхо-сигналами, фронты которых не сливаются, от двух последовательно расположенных поверхностей. Величину $T_р$ оценивают по СО № 1. Оптимальные значения основных параметров контроля конкретных соединений указываются в нормативно-технической документации (НТД) на контроль.

ТЕХНОЛОГИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ

Процесс ультразвукового контроля сварного соединения состоит из этапов: 1) подготовки к контролю; 2) поиска дефектов; 3) определения размеров, конфигурации и ориентации выявленных дефектов; 4) принятия решения о качестве проконтролированного соединения.

Подготовка к контролю. При подготовке к контролю: а) определяют тип и размеры соединения, подлежащего контролю, и выбирают по НТД основные параметры контроля и параметры сканирования; б) подключают и по контрольным

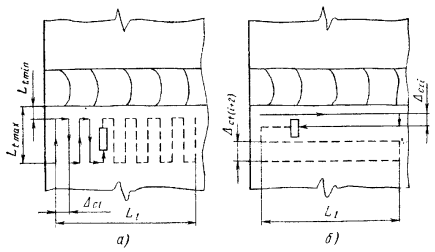


Рис. 11. Схемы поперечно-продольного (*а*) и продольно-поперечного (*б*) сканирования

образцам настраивают дефектоскоп на заданные основные параметры; в) с участков поверхности проката соединения, по которым должен перемещаться искатель, удаляют отслаивающуюся окалину, брызги металла, грязь, пыль и покрывают их слоем контактирующей жидкости (минеральным маслом, техническим глицерином и т. п.); для удержания контактирующей жидкости на потолочных и вертикальных сварных соединениях на упомянутые подготовленные участки накатывают полиэтиленовую пленку толщиной ~0,1 мм по ГОСТ 10354—73 и покрывают ее слоем контактирующей жидкости. Применение пленки уменьшает флуктуации акустического контакта и истирание призмы наклонного искателя.

Поиск дефектов. Цель поиска — обнаружение дефектов с $S_э \geqslant S_{по}$, где $S_{по}$ — заданная предельная чувствительность в предположении, что дефект находится на акустической оси искателя. При поиске дефектов используют схемы поперечно-продольного или продольно-поперечного сканирования (рис. 11). Для выявления дефектов с $S_э \geqslant S_{по}$ в сечениях, озвучиваемых под некоторым углом к акустической оси, чувствительность поиска $S_{пс}$ увеличивают по сравнению с чувствительностью оценки $S_{по}$ на некоторую величину $\Delta S_{пс}$, обусловливаемую диаграммой направленности $\Phi_г(\varphi)$ или $\Phi(\alpha)$ и принятым значением шага Δ_{ct} или Δ_{cl} соответственно.

Основные параметры сканирования: а) шаг продольного Δ_{cl} или поперечного Δ_{ct} сканирования; б) пределы поперечного L_t или продольного L_l перемещения искателя; в) максимальная неравномерность чувствительности в продольном сечении соединения $S_{пс}/S_{по}$; г) максимальный угол $2\varphi_c$ вращения искателя вокруг оси, проходящей через точку выхода луча; д) шаг $L_в$ вращения искателя.

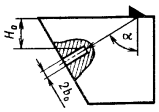
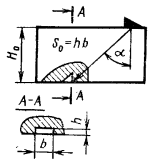
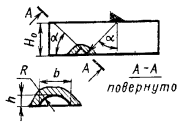
Параметры сканирования рассчитывают по выражениям, приведенным в [3 и 4]. Для типовых искателей ($af \approx 15$ мм·МГц) при $S_{пс}/S_{по} = 1{,}4$ (3 дБ) шаг $\Delta_{cl} \approx 2$ мм, а шаг Δ_{ct} соответствует значениям, приведенным в табл. 6.

Сканирование по схеме, приведенной на рис. 11, *б*, существенно сокращает трудоемкость контроля по сравнению со сканированием по схеме рис. 11, *а*.

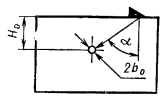
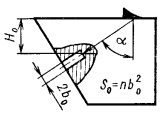
6. Шаг сканирования Δ_{ct}, мм

Порядковый номер шага	Искатель с $\beta°$		Порядковый номер шага	Искатель с $\beta°$	
	40	50		40	50
1	5	9	6	13	48
2	6	12	7	16	—
3	7	17	8	20	—
4	9	24	9	24	—
5	10	34			

7. Соотношения для приближенного расчета эквивалентной площади $S_э$ (мм²) на глубине H ультразвукового контроля при настройке чувствительности дефектоскопа по отражателям, расположенным в дальней зоне искателя $\left(H_1 = H + \Delta H;\ H_0' = H_0 + \Delta H\right)$

Вид отражателя	Соотношения
	$S_э \approx \frac{\lambda_t H_1^2}{2H_0 \cos\alpha} \exp\left[-\frac{2\delta_t}{\cos\alpha}\left(H_0' - H_1\right)\right]$
	$S_э \approx \frac{\lambda_t^{3/2} H_1^2}{\sqrt{2S_a \frac{\cos\alpha}{\cos\beta} R^{1/2}\cos^2\alpha}} \times \exp\left[-\frac{2\delta_t}{\cos\alpha}\left(H_0 - H_1\right)\right]$
	$S_э \approx S_0\left(\frac{H_1}{H_0'}\right)^2 \exp\left[-\frac{2\delta_t}{\cos\alpha}\left(H_0' - H_1\right)\right];$ $\lambda_t < b < \frac{0{,}1\lambda_t H}{a\cos\alpha}$
	$S_э \approx NS_0\left(\frac{H_1}{H_0'}\right)^2 \exp\left[-\frac{2\delta_t}{\cos\alpha}\left(H_0' - H_1\right)\right];$ $\frac{\alpha°}{N}\ \Big|\ \frac{35\text{—}40}{2{,}5}\ \Big|\ \frac{45\text{—}52}{1{,}5}\ \Big|\ \frac{64\text{—}69}{0{,}5}$ $\lambda_t < h < \frac{0{,}05\lambda_t H}{a\cos\alpha};\quad \lambda_t < b < \frac{0{,}1\lambda_t H}{a\cos\alpha};$ $0{,}5 < \frac{h}{b} < 4{,}0$
	$S_э \approx S_0\left(\frac{H_1}{H_0'}\right)^2 \exp\left[-\frac{2\delta_1}{\cos\alpha}\left(H_0' - H_1\right)\right];$ $\lambda_t < h < \frac{0{,}1\lambda_t H}{a\cos\alpha};\quad \lambda_t < b < \frac{0{,}1\lambda_t H}{a\cos\alpha};$ $h/b > 0{,}4$

Продолжение табл. 7

Вид отражателя	Соотношения
	$S_э \approx \frac{b_0^{1/2}\lambda_t H_1^2}{2H_0^{3/2}\cos^{1/2}\alpha} \exp\left[-\frac{2\delta_t}{\cos\alpha}(H_0 - H_1)\right];$ $\lambda_t < b < \frac{0{,}1\lambda_t H}{a\cos\alpha}$
	$S_э \approx \frac{b_0\lambda_t}{2}\left(\frac{H_1}{H_0'}\right)^2 \exp\left[-\frac{2\delta_t}{\cos\alpha}(H_0' - H_1)\right];$ $\lambda_t < b < \frac{0{,}1\lambda_t H'}{a\cos\alpha}$

Для точного соблюдения заданных параметров сканирования при перемещении искателя вручную целесообразно применять специальные приспособления.

Определение размеров, конфигурации и ориентации выявленных дефектов. Размеры дефекта приблизительно оценивают по его эквивалентной площади (табл. 7) и условным размерам [3, 14]. К условным размерам дефекта относят условную протяженность ΔL, условную ширину Δx и условную высоту ΔH (рис. 12). Условную протяженность ΔL определяют длиной зоны перемещения искателя вдоль шва между некоторыми крайними положениями, в пределах которой воспринимается сигнал от дефекта. Условную ширину Δx измеряют аналогично при перемещении искателя перпендикулярно шву. Условную высоту ΔH определяют как разность максимальной и минимальной глубин залегания выявляемого дефекта, измеренных в крайних положениях искателя, при которых измерялось значение Δx.

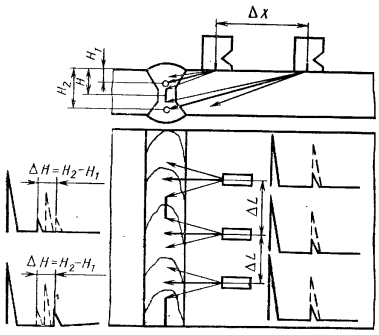


Рис. 12. Схема измерения условных размеров дефекта

Применяют два способа задания крайних положений искателя при определении условных размеров.

Способ 1. Крайними положениями искателя считают такие, при которых амплитуда эхо-сигнала от выявляемого дефекта уменьшается до значения U_{min}, составляющего определенную часть A от максимального значения U_{max} эхо-сигнала: $U_{min} = AU_{max}$, где A — относительный уровень отсечки, принимаемый $A = 0{,}2 \div 0{,}8$ [3].

Измеренное по способу 1 значение $\Delta L_д^I$ дефекта с ненаправленной индикатрисой рассеяния независимо от истинных размеров дефекта равно ширине ΔL_0 ультразвукового пучка на уровне $\sqrt{A}$ в месте расположения дефекта; если $\Delta L_д^I < \Delta L_0$, то истинные размеры дефекта меньше ΔL_0 и дефект имеет направленную индикатрису рассеяния (плоскостной дефект); при $\Delta L_д^I > \Delta L_0$ истинные размеры дефекта больше ΔL_0. Границы такого дефекта приблизительно совпадают с осью искателя в положении, соответствующем ослаблению амплитуды эхо-сигнала U_{max} в 2 раза ($A = 0{,}5$), где U_{max} — максимальная амплитуда эхо-сигнала при озвучивании края дефектного участка.

Способ 2. За крайние положения искателя принимают такие, при которых амплитуда эхо-сигнала достигла некоторого заданного абсолютного значения U_{min}, не зависящего от максимальной амплитуды эхо-сигнала. Измеренные по способу 2 значения условных размеров зависят от амплитуды эхо-сигнала и поэтому не

8. Классификация дефектов по результатам ультразвукового контроля

Тип дефекта	Признаки
Объемный компактный	$\Delta L_д^I = \Delta L_0$; $U_1 > U_2$ или $\Delta L_д^I = \Delta L_0$; $\mu_д = \mu_0$ или $\Delta L_д^I = \Delta L_0$; $\gamma_д \geqslant \gamma_0$
Объемный протяженный	$\Delta L_д^I > \Delta L_0$; $U_1 > U_2$ или $\Delta L_д^I > \Delta L_0$; $\mu_д \approx \mu_0$ или $\Delta L_д^I > \Delta L_0$; $\gamma_д \geqslant \gamma_0$
Плоскостной компактный	$\Delta L_д^I \leqslant \Delta L_0$; $U_1 < U_2$ или $\Delta L_д^I \leqslant \Delta L_0$; $\mu_д \ll \mu_0$ или $\Delta L_д^I \leqslant \Delta L_0$; $\gamma_д < \gamma_0$
Плоскостной протяженный	$\Delta L_д^I > \Delta L_0$; $U_1 < U_2$ или $\Delta L_д^I > \Delta L_0$; $\mu_д \ll \mu_0$ или $\Delta L_д^I > \Delta L_0$; $\gamma_д < \gamma_0$

несут никакой новой информации о дефектах с круговой индикатрисой по сравнению с той, которая содержится в амплитуде эхо-сигнала от дефекта.

Конфигурацию и ориентацию дефекта в сечении шва определяют с тем, чтобы оценить его потенциальную опасность. При этом идентифицируют дефекты на округлые и плоскостные путем (табл. 8) сравнения [1, 3, 14]: а) условных размеров $\Delta L_д^I$ и $\Delta x_д^I$ выявленного дефекта с расчетными или экспериментально установленными значениями ΔL_0 и Δx_0; б) максимальной амплитуды U_1 эхо-сигнала, отраженного от выявленного дефекта обратно к ближнему от шва искателю, с амплитудой U_2 эхо-сигнала, претерпевшего зеркальное отражение от внутренней поверхности соединения и принимаемого двумя искателями, включенными по схеме «тандем»; в) отношения условных размеров $\mu_д = \Delta x_д/\Delta H_д$ выявленного дефекта с отношением μ_0 условных размеров для цилиндрического отражателя; г) угла $\gamma_д$ между крайними положениями искателя, соответствующими уменьшению максимальной амплитуды эхо-сигнала от дефекта в 2 раза, со значением γ_0, оговариваемым в НТД на контроль.

Необходимость, возможность и методика оценки конфигурации и ориентации выявленного дефекта для соединения каждого типа и размера оговаривается в НТД на контроль.

Перспективным способом оценки конфигурации и ориентации дефекта является спектральный, основанный на исследовании частотной зависимости амплитуды эхо-сигнала от дефекта. Указания по сокращенному описанию выявленного дефекта даны в ГОСТ 14782—76.

Оценка качества сварного соединения. Качество шва по результатам ультразвукового контроля оценивают в соответствии с требованиями технических условий на изделие; при этом, кроме перечисленных характеристик выявленных дефектов, учитывают также координаты их расположения в сечении шва, условное расстояние Δl между дефектами (см. рис. 12) и число дефектов на определенной длине шва.

ОСОБЕННОСТИ КОНТРОЛЯ СОЕДИНЕНИЙ РАЗЛИЧНОГО ТИПА

Стыковые сварные соединения контролируют, как правило, эхо-методом наклонным совмещенным искателем с одной стороны одной поверхности прямым ($m = 0$) и однократно отраженным ($m = 1$) лучом (рис. 13, *а*). Швы толщиной более 150 мм прозвучивают с одной стороны двух поверхностей.

Угол α ввода луча при любом m выбирают обычно из условия пересечения акустической осью искателя оси симметрии шва толщиной δ на глубине $0{,}5\delta$:

$$\operatorname{tg}\alpha \geqslant (b + 2n)/\delta \quad \text{при} \quad m = 0;$$
$$\operatorname{tg}\alpha \geqslant (b + 2z)/\delta \quad \text{при} \quad m = 1.$$

Расстояние z необходимо для обеспечения направленного отражения основной части ультразвукового пучка в контролируемую область шва ($z = 2 \div 8$ мм) [3].

Пределы поперечного перемещения искателя рассчитывают по формулам:

$$\text{при } m = 0 \quad L_{t\min} = n; \quad L_{t\max} = \delta \operatorname{tg}\alpha;$$
$$\text{при } m = 1 \quad L_{t\min} = \delta \operatorname{tg}\alpha + z; \quad L_{t\max} = 2\delta \operatorname{tg}\alpha.$$

Ориентировочные значения основных параметров контроля приведены в табл. 9.

При контроле соединений толщиной 3—50 мм из сплавов алюминия условную чувствительность снижают на одно отверстие по СО № 1, а при контроле тех же соединений из сплава меди понижают частоту до ~1,5 МГц, повышая чувствительность на одно-два отверстия по СО № 1.

Швы аустенитного класса толщиной до 25—30 мм, если структура шва не вызывает заметного рассеяния ультразвуковых колебаний, контролируют ана-

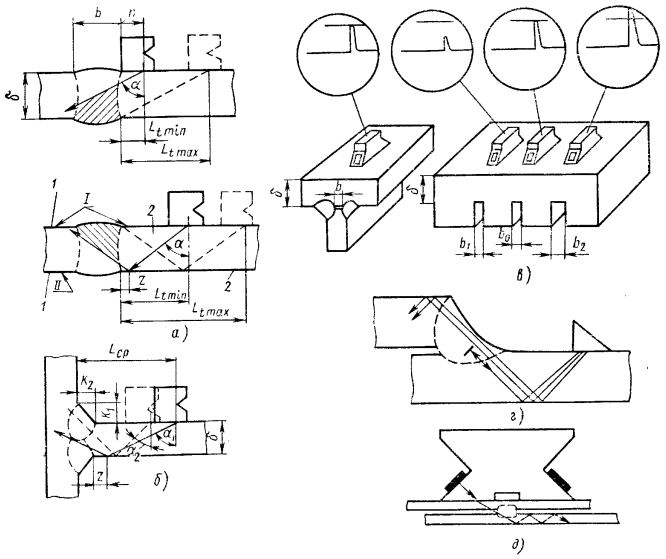


Рис. 13. Схемы прозвучивания сварных соединений:
I, II — поверхности соединения; *1, 2* — стороны соединения

9. Основные параметры контроля стыковых сварных швов из низкоуглеродистых и низколегированных сталей

Толщина δ, мм	m	Угол ввода луча α, градусы	Частота f, МГц	Радиус преобразователя a, мм	Чувствительность	
					$S_п$, мм	$k_у$, мм
3—10	0	74—70	5	3—4	1—2	20—15
15—25	0	65	2,5	6	2—4	30—25
25—50	0 1	65 50	2,5 2,5	6 6	2—7 2—7	35—20 35—20
50—150	0 1	65—50 40—50	1,5—2,5	9—6	3—15	50—30
150—2000	0	Набор искателей 0—65	0,8—2,0	15—8	7—80	—

логично швам из низколегированных сталей [12]; в противном случае применяют двухчастотный вариант эхо-метода [2].

Тавровые соединения с полным проваром корня, как правило, контролируют эхо-методом со стороны привариваемого листа (стенки); вначале ведут поиск непровара в корне соединения искателем с углом $\alpha = \alpha_1$ (обычно $\alpha_1 \approx 65°$), а затем — поиск продольных трещин, пор и твердых включений искателем с углом $\alpha = \alpha_2$ (обычно $\alpha_2 \approx 50°$) (рис. 13, *б*). Методика контроля аналогична методике контроля стыковых соединений.

Тавровые соединения с допустимым непроваром определенной ширины b_0 в корне контролируют со стороны полки. При этом ширину непровара определяют по испытательному образцу (рис. 13, *в*) или безэталонным способом по расчетной или экспериментальной зависимости амплитуды эхо-сигналов от ширины непровара [3, 9].

Нахлесточные соединения проверяют со стороны основного листа (рис. 13, *г*). Для надежного выявления непроваров основного листа соединение дополнительно контролируют зеркально-теневым методом с помощью наклонных искателей, включенных по раздельно-совмещенной схеме [3, 14].

Швы контактной сварки контролируют эхо-методом. Для более надежного выявления дефектов в ряде случаев швы, выполненные сваркой оплавлением, прозвучивают по схеме «тандем», поскольку дефекты в них расположены строго вертикально [14]. Практически не отражают ультразвука и не выявляются дефекты типа слипания (слабоокисленные непровары). Эти дефекты удается обнаружить при наличии сопровождающих их других дефектов (например, сильноокисленных непроваров). Эхо-метод с одним искателем применяют для контроля контактной сварки рельсов [8].

Сварные точки контролируют зеркально-теневым методом (рис. 13, *д*). Признаком отсутствия сварки является приход донного сигнала от первого листа к приемному искателю. Перемещая искатель по поверхности изделия, определяют размеры сварной точки. Недостатком данного способа является невозможность отличить наличие литого ядра (важнейший признак хорошей сварки) от слипания. Этим недостатком не обладают способы контроля в процессе сварки. Согласно одному из них в верхний лист вводится нормальная волна, которая испытывает отражение от расплавленного ядра в момент его образования. По интервалу времени от момента появления эхо-сигнала, сообщающего о начале формирования ядра, до момента выключения сварочного тока можно оценить размеры ядра. Согласно второму способу излучающий и приемный искатели встроены в электроды сварочной машины. Контроль ведут теневым методом. В момент сжатия свариваемых листов электродами проходит ультразвук. Сигнал уменьшается в момент образования расплавленного ядра, а после его застывания вновь возрастает. В этом случае особенно эффективно применение поперечных волн, прохождение которых полностью экранируется расплавленным ядром.

Конкретные рекомендации по методикам контроля сварных соединений даны также в работах [3, 12, 14].

НАДЕЖНОСТЬ И АВТОМАТИЗАЦИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ

Надежность ультразвукового метода оценивают как надежность комплекса «дефектоскоп-оператор» [4]. Надежность оператора в комплексе обусловливается рядом субъективных факторов и может быть повышена введением периодической проверки основных параметров контроля, приспособлений для соблюдения параметров сканирования, устройств регистрации объективного документа контроля, а также инспекционной выборочной проверки результатов контроля. Однако высокая надежность может быть обеспечена полной автоматизацией процесса контроля, регистрации документа и оценки качества соединения. При этом перспективно применение систем сканирования с переменными параметрами и устройств обработки сигналов на базе ЭВМ [7, 12].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **ГОСТ 14782—76.** Контроль неразрушающий. Швы сварные. Методы ультразвуковые.
2. **Гребенников В. В.** Многочастотный способ ультразвукового контроля аустенитных сварных швов. — Дефектоскопия, 1974, № 1, с. 81—88.
3. **Гурвич А. К., Ермолов И. Н.** Ультразвуковой контроль сварных швов. Киев, Техника, 1972, 460 с.
4. **Гурвич А. К.** Введение в общую теорию неразрушающего контроля сварных соединений. — В сб.: Комплексная дефектоскопия сварных и паяных соединений, МДНТП, 1975, с. 126—136.
5. **Дианов Д. Б.** Исследование направленности призматических искателей — Дефектоскопия, 1965, № 2, с. 8—22.
6. **Ермолов И. Н.** Методы ультразвуковой дефектоскопии. Московский горный институт, 1967, 267 с.
7. **Круг Г. А.** Некоторые принципы построения аппаратуры автоматизированного ультразвукового контроля сварных соединений. М., Машиностроение, 1977, 46 с.
8. **Кузьмина Л. И.** Ультразвуковая дефектоскопия стыков контактной сварки рельсов. М., Машиностроение 1970, 36 с.
9. **Кукли А. С., Веврик А. Е.** Зависимость амплитуды эхо-сигнала при определении ширины непровара безэталонным методом в тавровых соединениях. — Дефектоскопия, 1975, № 4, с 17—21
10. **ОСТ 25391—73.** Преобразователи ультразвуковые для дефектоскопии. М., Минприбор, 1973
11. **Приборы** для неразрушающего контроля материалов и изделий. М., Машиностроение, ч. II. 1976, 326 с.
12. **Химченко Н. В., Бобров В. А.** Неразрушающий контроль в химическом и нефтяном машиностроении. М., Машиностроение, 1978, 264 с.
13. **Шкарлет Ю. М.** Бесконтактные методы ультразвукового контроля. М., Машиностроение, 1974, 57 с.
14. **Щербинский В. Г., Алешин Н. П.** Ультразвуковой контроль сварных соединений строительных конструкций. М., Стройиздат, 1976, 159 с.

Глава 16

МАГНИТНЫЕ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Для контроля дефектов сварных соединений ферромагнитных изделий все более широко используют магнитные методы неразрушающего контроля. Они основаны на индикации и анализе магнитных полей рассеяния, возникающих в местах нарушения сплошности ферромагнитного сварного шва при воздействии на него магнитного поля. Изменение напряженности магнитного поля в месте дефекта регистрируется с помощью ферромагнитного порошка при магнитопорошковом способе контроля, магнитной пленки при магнитографическом способе и феррозонда или индукционной катушки соответственно при феррозондовом и индукционном способах контроля.

МАГНИТОПОРОШКОВЫЙ СПОСОБ КОНТРОЛЯ

При магнитопорошковом способе контроля для намагничивания изделий применяют постоянный, переменный, однополупериодный выпрямленный и импульсный токи. Контроль проводят в приложенном поле и в режиме остаточной намагниченности. Дефекты обнаруживаются наилучшим образом, когда направление намагничивания контролируемого участка перпендикулярно направлению дефекта.

Для создания оптимальных условий контроля применяют три способа намагничивания: циркулярное, полюсное и комбинированное.

Циркулярное намагничивание осуществляют путем пропускания тока по контролируемой детали или через проводник (стержень), помещенный внутри полой детали. Наиболее эффективно циркулярное намагничивание для деталей, имеющих форму тела вращения, например труб.

Полюсное намагничивание осуществляют с помощью электромагнитов (постоянных магнитов) или соленоидов; оно может быть продольным, когда участок сварного шва намагничивается вдоль своего наибольшего размера, а также поперечным, когда сварной шов намагничивается в поперечном направлении.

Комбинированное намагничивание объединяет различные виды полюсного намагничивания, а также циркулярное.

Составной частью технологии магнитного контроля является размагничивание деталей. Применяют два основных способа размагничивания деталей. Первый — это нагрев детали до температуры Кюри, при которой ферромагнитные свойства материала пропадают. В связи с тем, что нагрев может изменять механические свойства материала, указанный способ размагничивания используют редко. Второй способ заключается в размагничивании переменным магнитным полем с амплитудой, равномерно уменьшающейся от некоторой максимальной величины до нуля. В зависимости от материала размагничиваемого изделия, его размеров и формы применяют переменные поля различных частот от долей герц до 50 Гц.

Чем больше магнитная проницаемость материала и толщина детали (стенки детали), тем ниже должна быть частота размагничивающего переменного магнитного поля. За начальную амплитуду размагничивающего поля, как правило, принимают амплитуду намагничивающего поля. Для большинства материалов число размагничивающих периодов должно быть порядка 40—50.

1. Состав магнитных суспензий

Суспензии	Компоненты	Состав, г		
		№ 1	№ 2	№ 3
Водные магнитные	Черный магнитный порошок (или магнитолюминесцентный порошок)	20 ±5 (4 ±1)	20 ±5 (4 ±1)	20 ±5 (4 ±1)
	Хромпик калиевый	4 ±1	—	—
	Сода кальцинированная	10 ±1	—	12 ±2
	Эмульгатор ОП-7 или ОП-10	5 ±1	5 ±1	—
	Вода	1000	1000	1000
	Нитрит натрия	—	15 ±1	—
	Мыло хозяйственное	—	—	1 ±0,5
Масляные и керосино-масляные	Черный магнитный порошок (или магнитолюминесцентный порошок)	20 ±5 (4 ±1)	20 ±5 —	— —
	Масло РМ	1000	—	—
	Стабилизирующая присадка Акор-1	0,1—1	0,1—1	—
	Масло трансформаторное	—	500	—
	Керосин	—	500	—

Наиболее распространенными в магнитопорошковой дефектоскопии являются порошки окислов железа: магнетита $FeOFe_2O_3 = Fe_3O_4$ и (несколько реже) ферромагнитной окиси железа Fe_2O_3. При контроле различных деталей можно использовать порошок различного цвета. Для деталей с блестящей светлой поверхностью применяют в основном порошок магнетита черного цвета. При контроле деталей с черной поверхностью используют цветные (чаще кирпично-красного цвета) или магнитолюминесцентные порошки.

Магнитолюминесцентные порошки при ультрафиолетовом освещении позволяют более четко выделять дефектные места, что облегчает распознавание дефектов и повышает производительность контроля. Размер частиц порошка 0,1—100 мкм. Для ускорения процесса осаждения порошка над дефектом применяют магнитные суспензии, представляющие собой взвесь магнитных частиц в жидкой среде. В большинстве случаев используют водные, а также керосино-масляные суспензии на основе не светящихся при ультрафиолетовом облучении масел. Размер частиц в суспензии от 40—60 до 0,1 мкм.

Магнитные пасты содержат смачивающие, антикоррозионные и другие присадки, необходимые для контроля. Наиболее распространены составы магнитных суспензий, приведенные в табл. 1.

Магнитопорошковый способ контроля позволяет обнаруживать поверхностные и подповерхностные дефекты типа волосовин, трещин, расслоений, непроваров, надрывов и т. п. Подповерхностные дефекты на глубине примерно до 100 мкм могут быть обнаружены практически при такой же высокой чувствительности, что и поверхностные дефекты. На расстоянии от поверхности более 2—3 мм могут быть обнаружены только относительно грубые дефекты. Магнитопорошковый контроль по сравнению с другими магнитными методами контроля является более универсальным и пригоден для деталей практически любых форм и размеров. Чувствительность метода, определяемая минимальными размерами обнаруживаемых дефектов, зависит от многих факторов, таких как магнитные характеристики материала контролируемой детали, ее формы и размеров, характера (типа) выявляемых дефектов, шероховатости обработанной поверхности детали, режима контроля, свойства применяемого магнитного порошка, условий нанесения суспензии, освещенности осматриваемого участка детали и т. д.

Высшая чувствительность магнитопорошкового метода характеризуется по ГОСТу дефектами с раскрытием от 2,5 мкм и глубиной от 25 мкм.

Контроль магнитопорошковым методом состоит из следующих операций: подготовки детали к контролю, намагничивания детали, нанесения на деталь магнитного порошка или суспензии, осмотра детали для выявления дефектов, разбраковки и размагничивания.

Подготовка детали к контролю заключается в очистке поверхности детали от отслаивающейся ржавчины, грязи, а также от смазки и масел, если контроль осуществляют с помощью водной суспензии или сухого порошка. Если поверхность детали темная и черный магнитный порошок на ней плохо виден, то деталь иногда покрывают просвечивающимся тонким слоем белой краски (обычно нитролаком), после чего видимость отложений порошка на дефектах значительно улучшается. Постоянный ток наиболее удобен для выявления внутренних дефектов. Увеличение глубины промагничивания при использовании импульсного тока достигается путем повторного (трех-пятикратного) намагничивания импульсами одного направления. Закалочные трещины при магнитопорошковом способе контроля могут быть обнаружены при заниженных режимах контроля или даже способом остаточной намагниченности на материалах с низкой остаточной индукцией. Поры и другие точечные дефекты выявляются в виде коротких полосок порошка, направление которых перпендикулярно направлению намагничивания.

Дефекты с большим отношением глубины к раскрытию могут быть обнаружены при меньших намагничивающих полях и способом остаточной намагниченности. Подповерхностные дефекты дают менее четкое отложение валика порошка и, как правило, могут быть обнаружены только способом приложенного поля. Трудности различения дефектов магнитопорошковым методом связаны с возможностью перебраковки из-за отложений порошка в местах с магнитной структурной неоднородностью.

Магнитопорошковые дефектоскопы имеют источники тока и устройства для подвода тока к детали, для полюсного намагничивания (соленоиды, электромагниты), для нанесения на контролируемую деталь суспензии, осветительные, измерители тока (или напряженности поля). Дефектоскопы могут содержать также и дополнительные узлы для перемещения детали, разбраковки, отметки дефектов и т. д.

Магнитопорошковые дефектоскопы разделяют на стационарные универсальные, передвижные и переносные, а также специализированные.

Стационарные универсальные дефектоскопы используют на предприятиях крупносерийного и мелкосерийного производства разнотипных деталей. Производительность их составляет от десятков до сотен деталей в час и может быть увеличена путем использования магнитолюминесцентного способа. Стационарные универсальные установки позволяют производить намагничивание всеми известными способами (циркулярным, полюсным, комбинированным), а также осуществлять контроль в приложенном поле и способом остаточной намагниченности. Такие установки различаются родом намагничивающих токов, мощностью, размерами контролируемых деталей, возможностью раздвижения контактных устройств по поперечным размерам, максимальным токам. В СССР применяют универсальные дефектоскопы типа УМДЭ-10 000, УМДЭ-2500, У604-70М и др.

Широкое распространение в СССР и за рубежом получили передвижные и переносные (менее мощные) дефектоскопы. Как правило, они представляют собой источники переменного тока, постоянного (однополупериодного выпрямленного) и реже импульсного. Иногда один дефектоскоп позволяет работать с двумя видами тока.

Передвижные и переносные дефектоскопы предназначены для контроля деталей в условиях, когда применять стационарные дефектоскопы невозможно, например для крупногабаритных деталей, которые нельзя поместить в дефектоскоп, при контроле в полевых условиях и т. д. Они должны иметь также комплекты материалов для контроля (сухие порошки, устройства для их напыления, сосуды с суспензией и т. п.).

Передвижные и переносные дефектоскопы позволяют производить циркулярное намагничивание с помощью токовых контактов, помещаемых на участке детали; продольное намагничивание — с помощью кабеля, навиваемого на деталь, или иногда с помощью электромагнита. Среди магнитопорошковых наибольшее применение получили переносные дефектоскопы типа ДМП-2 и ПМД-70, а также дефектоскопы типа МД-50П для передвижного контроля в полевых условиях.

2. Техническая характеристика магнитопорошковых дефектоскопов

Дефектоскоп	Род тока	Максимальный ток, А	Напряженность поля при намагничивании, А/см	Максимальная длина детали, мм
УМДЭ-10000	Переменный однополупериодный выпрямленный	15 000	240	1600
УМДЭ-2500	Переменный (постоянный для полюсного намагничивания)	5 000	200	900
ПМД-70	Импульсный переменный	1 200	80	—
МД-50П	Импульсный	5 000	160	—
У-604-68	Однополупериодный выпрямленный и переменный	10 000	480	1725
МДС-1,5	То же	2 500	80	200
МДС-5	Переменный (постоянный для полюсного намагничивания)	7 500	80	900
ДМП-2	Переменный однополупериодный выпрямленный	1 250	80	—

Специализированные дефектоскопы являются автоматизированными установками, где большинство операций контроля, кроме осмотра, автоматизированы. Эти установки предназначены для контроля деталей одного типа при крупносерийном производстве. Техническая характеристика некоторых отечественных магнитопорошковых дефектоскопов приведена в табл. 2.

МАГНИТОГРАФИЧЕСКИЙ СПОСОБ КОНТРОЛЯ

Физическая сущность магнитографического метода контроля заключается в намагничивании контролируемого участка сварного шва с одновременной записью магнитных полей рассеяния дефектов на магнитную ленту, накладываемую на участке контроля, и последующем воспроизведении и расшифровке записанных на ленту тангенциальных составляющих магнитных полей.

Источником информации является электрический сигнал магнитной головки, считывающей запись магнитной ленты, который наблюдается и анализируется на экране электронно-лучевой трубки дефектоскопа.

Магнитные ленты, используемые для магнитографического контроля, имеют сравнительно большую ширину, эластичность, а также хорошие магнитные свойства, обеспечивающие получение максимального уровня записи и воспроизведения полей дефектов при достаточно широком температурном диапазоне (от +50 до —40° С). Они состоят из слоя магнитного порошка, растворенного в лаке, и немагнитной основы, изготовляемой из ацетилцеллюлозы, поливинилхлорида, полиэфиров или лавсана. Магнитно-активный слой представляет собой порошок окиси железа, взвешенный в лаке. Для магнитографического контроля разработаны и выпускаются ленты типа МК-1 на триацетатной основе и МК-2 на лавсановой основе.

3. Техническая характеристика магнитографических дефектоскопов

Дефектоскоп	Ширина магнитной ленты, мм	Индикация	Линейная скорость воспроизведения, мм/с	Протяжка ленты при скорости, мм/с	Масса, кг
МГК-1	35	Импульсная яркостная плоскостная без ограничения зоны воспроизведения	5 000	Ручная автоматическая непрерывная — 40	30
МД-9	35	Импульсная	5 200	Ручная с произвольной скоростью	20
МД-11	35	Яркостная плоскостная	5 200	Автоматическая непрерывная покадровая — 55	25
МДУ-2У	35	Импульсная яркостная плоскостная с ограничением зоны воспроизведения	12 500	Ручная автоматическая непрерывная покадровая — 46,4	25
МД-30Г	35; 50,8	То же	12 500	Ручная автоматическая непрерывная покадровая — 50,0	12

При магнитографическом контроле детали намагничивают чаще с помощью специальных электромагнитов и более редко способом циркулярного намагничивания — прохождением тока по детали.

Для выявления подповерхностных дефектов применяют намагничивание постоянным током, а для выявления поверхностных дефектов — переменным или импульсным током.

Поперечное намагничивание контролируемого участка производят с помощью неподвижных, подвижных и механически перемещающихся шагами намагничивающих устройств, представляющих собой различные конструкции электромагнитов с П-образными сердечниками и сменными фасонными или прямыми полюсными наконечниками. Эти устройства обладают намагничивающей силой до 18—20 тыс. А, что позволяет намагничивать контролируемый участок сварного шва до состояния, близкого к техническому насыщению, и сводить к минимуму помехи от магнитных структурных неоднородностей материала сварного шва и околошовной зоны.

Магнитографические дефектоскопы позволяют обнаруживать дефекты глубиной 10—15% от толщины стенки, расположенные на расстоянии от поверхности до 20—25 мм При этом магнитная лента всегда должна быть плотно прижата к сварному шву, так как края валика усиления создают значительное размагничивающее поле, резко уменьшающее магнитное поле дефекта, и чувствительность метода резко уменьшается при увеличении зазора между лентой и сварным швом.

Технология магнитографического контроля состоит из следующих основных операций: 1) подготовки контролируемого участка изделия к контролю, заключающейся в очистке сварного шва от грязи, остатков шлака, брызг расплавленного металла и т. д. и наложении на контролируемый участок магнитной ленты; при этом в зависимости от материала и толщины сварного соединения, а также типа намагничивающего устройства устанавливают необходимый режим (ток) намагничивания; 2) намагничивания контролируемого участка изделия вместе с расположенной на нем магнитной лентой (операция записи поля дефекта на магнитную ленту); 3) воспроизведении записи с помощью устройства воспроизведения магнитографического дефектоскопа; 4) разбраковки проконтролированных участков сварных швов по результатам контроля.

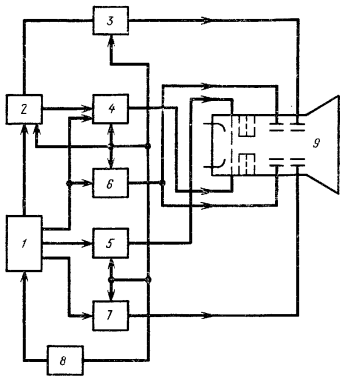


Рис. 1. Блок-схема дефектоскопа МДУ-2У:
1 — блок считывания; *2* — предварительный усилитель; *3* — усилитель канала импульсной индикации; *4* — усилитель канала видеоиндикации; *5* — усилитель импульсов подсветки; *6* — генератор строчной развертки; *7* — генератор кадровой развертки; *8* — блок питания; *9* — электронно-лучевая трубка

В некоторых случаях можно применять автоматические магнитографические устройства, осуществляющие запись полей дефектов на бесконечную магнитную ленту, выполненную в форме петли. Запись производится при соприкосновении движущейся относительно изделия ленты, которая затем проходит около считывающих и стирающих магнитных головок, подготавливаясь к следующему циклу записи. Характеристика отечественных магнитографических дефектоскопов приведена в табл. 3. Блок-схема дефектоскопа МДУ-2У приведена на рис. 1. Наиболее совершенным является магнитографический дефектоскоп МД-30Г.

Настройку магнитографических дефектоскопов в настоящее время осуществляют в основном по эталонным магнитным лентам. Эталонные ленты намагничивают на специальных контрольных стыках, сваренных по принятой на данном предприятии технологии из используемых сталей.

Контрольные стыки сваривают так, чтобы в них имелись внутренние дефекты типа цепочек пор, шлаковых включений, непроваров и т. п., размер которых соответствует чувствительности метода (около 10%). С контрольного стыка снимают рентгенограмму, которая является контрольным документом. Сигналы, полученные с магнитной ленты с записью дефектов на контрольных стыках, служат для настройки дефектоскопа на соответствующую чувствительность.

ФЕРРОЗОНДОВЫЙ И ИНДУКЦИОННЫЙ СПОСОБЫ КОНТРОЛЯ

Феррозонд является активным индукционным преобразователем, который используют для регистрации магнитных полей рассеяния дефектов и неоднородности структуры ферромагнитного материала. Применяемый при магнитных средствах неразрушающего контроля феррозонд представляет собой в большинстве случаев дифференциальный преобразователь с продольным возбуждением с одним или двумя пермаллоевыми сердечниками, на которых имеются возбуждающие и измерительные электрические обмотки. Возбуждающие обмотки питаются переменным током; их соединяют дифференциально при измерении напряженности поля и последовательно при измерении градиента поля. Измерительные обмотки включаются в обратном порядке.

Происходящие в феррозонде процессы связаны с взаимодействием двух полей — внешнего измеряемого поля и поля возбуждения, образуемого за счет тока первичных обмоток. Взаимодействие этих полей в объеме пермаллоевых сердечников приводит к появлению в измерительной обмотке электродвижущей силы,

величина которой характеризует напряженность или градиент внешнего поля. При наличии внешнего (измеряемого) поля в измерительной цепи феррозонда появляются четные относительно частоты поля возбуждения гармоники. Как правило, приборы с феррозондовыми преобразователями, применяющиеся в качестве дефектоскопов и измерителей физико-механических свойств, используют только вторую гармонику поля возбуждения. Отличительной особенностью феррозондов от магнитных преобразователей других типов является высокая чувствительность и малые габариты.

При феррозондовом способе контроля для намагничивания контролируемого участка используют все известные способы циркулярного и полюсного намагничивания. Контроль проводят как в режиме приложенного поля, так и остаточной намагниченности, при питании феррозондов током частотой в десятки и сотни килогерц. Размеры феррозондов, применяемых для дефектоскопии, максимально приближают к размерам дефектов. Длина сердечников обычно составляет 0,5—5 мм, а расстояние между ними (база) 0,2—2 мм.

Для полуавтоматического контроля качества сварных соединений толстостенных ферромагнитных изделий типа обечаек, барабанов котлов, корпусов реакторов на наличие поверхностных и подповерхностных дефектов типа разнонаправленных трещин, непроваров, раковин и т. д. на глубине до 5 мм от поверхности разработана феррозондовая установка «Радиан-1М». Принцип действия установки основан на намагничивании сварного шва изделия переменным магнитным полем и считывании градиентов магнитных полей рассеяния феррозондами-градиентометрами.

В результате использования продольного намагничивания поверхности изделия переменным магнитным полем установка имеет достаточно высокую чувствительность. Для устранения помех при работе феррозондового преобразователя в переменном поле применено радиоимпульсное возбуждение, синхронизированное с частотой намагничивающего поля. Это позволило улучшить селективность а следовательно, и надежность контроля. Скорость контроля составляет 2,0 м/мин. Выявляются дефекты глубиной более 0,15 мм, протяженностью более 2 мм.

Для полуавтоматического контроля сварных соединений элементов газоплотных панелей, изготовленных из гладких труб путем вварки полосы между ними, созданы феррозондовые установки типа «Магнетон». Установки выявляют дефекты типа разнонаправленных трещин, непроваров и др. по всей толщине швов при скорости контроля до 1 м/с. Толщина сварного соединения до 8 мм, размеры выявляемых дефектов по глубине более 0,15 мм и протяженности более 2 мм. Отличительной особенностью установок «Магнетон» является то, что для контроля дефектов типа трещин любых направлений, непроваров и др. применяют полюсные наконечники, выполненные в виде двух параллелепипедов, которые располагают под углом друг к другу со смещением полюсов по направлению перемещения. Крепление намагничивающего устройства к основанию и установка специальных опорных и направляющих роликов позволяют получить минимальный зазор полюс — изделие с целью оптимального намагничивания изделия под углом к сварному шву и свободного перемещения установки. Сканирующее устройство обеспечивает плоскоспиральное сканирование сварного шва при относительном перемещении установки вдоль сварного соединения в процессе контроля.

Дефекты сварных швов могут также обнаруживаться и при циркулярном намагничивании изделия. Для контроля зоны шва электросварных труб диаметром 100—200 мм при скорости до 1 м/с разработана установка ФДСШ-1, состоящая из системы неподвижных феррозондовых градиентометров, устройства циркулярного намагничивания и измерительного блока. В процессе поступательного движения сварная труба намагничивается током 2000—2500 А через роликовые токопроводы. Четыре неподвижных феррозонда контролируют зону сварного шва протяженностью 12 мм по периметру. Установки подобного принципа действия обеспечивают высокую чувствительность контроля и могут выявлять дефекты глубиной более 0,2 мм в линиях трубоэлектросварочных станов.

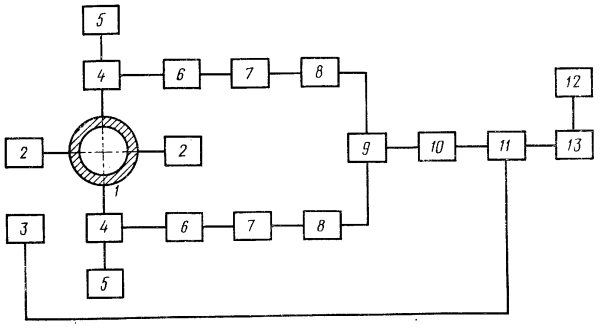


Рис. 2. Блок-схема установки ВМД-30Н:
1 — контролируемая труба; *2* — вращающийся электромагнит; *3* — тактовый генератор; *4* — индукционный преобразователь; *5* — генератор переменного тока с $f = 300$ кГц; *6* — вращающийся трансформатор; *7* — усилитель с детектором; *8* — пороговое устройство; *9* — схема объединения; *10* — реверсивный счетчик импульсов; *11* — дешифратор; *12* — регистрирующее устройство дефектов тела; *13* — регистрирующее устройство дефектов шва

Для предотвращения образования трещин, снижения жаропрочности и пластичности сварных швов хромоникелевых сталей аустенитного класса необходимо контролировать содержание ферритной фазы в металле шва. Феррозондовые ферритометры типа МФ-10Ф позволяют измерять содержание ферритной фазы в диапазоне 0,5—60% при относительной погрешности не более 10%. Принцип их работы основан на измерении искажения магнитного поля накладной системы постоянный магнит — феррозонд, которое имеет место в случае появления в материале ферритной фазы.

Для контроля физико-механических свойств сварных изделий может быть использован феррозондовый коэрцитиметр КИФМ-1. С его помощью можно измерять коэрцитивную силу на локальном участке изделия и оценивать его прочностные характеристики, коррелирующие во многих случаях с коэрцитивной силой. Намагничивание и размагничивание контролируемого участка осуществляется электромагнитом, в магнитную цепь которого вмонтирован феррозонд, являющийся индикатором намагниченности материала. Методика контроля заключается в намагничивании контролируемого участка практически до насыщения, выключении тока намагничивания и компенсации до нуля рассеянного поля изделия магнитным полем тока катушки обратного направления. Ток в катушке, при котором происходит полная компенсация рассеянного магнитного поля изделия, пропорционален коэрцитивной силе.

Феррозондовые приборы позволяют также определять физико-механические свойства изделий, измеряя градиент нормальной составляющей локального магнитного поля, сохраняющегося на поверхности испытуемого участка при его локальном намагничивании электромагнитом. На подобном принципе работают импульсные магнитные анализаторы ИМА-2А, МФ-10К и другие, имеющие генератор импульсов намагничивания, выносной блок-датчик, в котором размещены малогабаритная катушка для локального импульсного намагничивания и преобразователь (феррозонд, индукционная катушка) для измерения градиента локального магнитного следа, а также блок обработки информации.

Наиболее простым измерительным преобразователем напряженности магнитного поля является пассивный индукционный преобразователь, работающий на принципе электромагнитной индукции. Его чувствительность значительно повышается, если он имеет сердечник, изготовленный из материала с высокой магнитной проницаемостью. Отличительными особенностями индукционных преобразователей являются повышенная надежность и возможность работы в сильных магнитных полях намагничивающих устройств.

Для контроля дефектов сварных труб диаметром 20—114 мм и 102—220 мм разработаны магнитные установки типа ВМД-30Н и ВМД-40Н, использующие индукционные преобразователи. Указанные дефектоскопы одновременно выявляют дефекты зоны шва и тела трубы, обеспечивая их раздельную регистрацию. Глубина выявляемых дефектов на наружной поверхности 10% от толщины стенки трубы, а на внутренней 20%. Они могут быть встроены в автоматические линии контроля, использующиеся для статистического анализа ЭВМ. Поперечное намагничивание контролируемого участка трубы осуществляется полюсным электромагнитом, вращающимся вместе с индукционными преобразователями вокруг продольно движущейся трубы.

Блок-схема установок ВМД-30Н приведена на рис. 2. В установке предусмотрена логическая обработка сигналов, позволяющая производить отстройку от влияния зоны шва, оценивать раздельно сплошность тела трубы и зоны шва. Предусмотрена электронная отстройка от колебаний зазора между преобразователем и трубой.

МЕТОД ВИХРЕВЫХ ТОКОВ

Метод вихревых токов основан на возбуждении переменным электромагнитным полем в контролируемом участке вихревых токов и регистрации изменений от дефектов сварного соединения вторичного электромагнитного поля вихревых токов.

Преобразователи, используемые в вихревых дефектоскопах, представляют собой сочетание электрических катушек; их называют накладными, когда плоскость катушек преобразователя параллельна плоской контролируемой поверхности; и проходными, когда их помещают соосно снаружи или внутри протяженного изделия. Дефектоскопы с локальными накладными преобразователями применяют для контроля качества точечной сварки алюминиевых сплавов.

Анализ изменения электрической проводимости в зоне пятна сварной точки показал, что при наличии дефектов типа непровар (слипание) изменение электропроводности составляет 1—2% электропроводности основного материала вне зоны сварки. При наличии дефектов в литом ядре это изменение возрастает до 15—17% в зависимости от размеров дефекта. Такое изменение электропроводности, несмотря на наличие над литым ядром слоя материала с практически такой же электропроводностью, как у основного материала, может быть достаточно четко зарегистрировано вихретоковыми приборами с накладным локальным преобразователем. Например, вихретоковые дефектоскопы ДСТ-4М, ДСТ-5, ДСТ-6 и ДСТ-9 используют для контроля качества точечных сварных соединений на изделиях из материалов АМг6, Д16, 0,8кп и 15кп.

Указанные приборы позволяют проводить измерения при частоте тока питания преобразователя 8 кГц и допустимом колебании зазора до 0,3 мм для толщины свариваемых листов от 0,8 до 2,0 мм.

Для контроля дефектов сварных швов труб применяют дефектоскопы с проходными вихретоковыми преобразователями типа ЭЗТМ-1М и ВД-30П. Указанные приборы позволяют обнаруживать дефекты как в зоне сварного соединения, так и в местах основного металла электросварных труб диаметром 1—60 мм, перемещающихся внутри преобразователей со скоростью до 3 м/с. Для увеличения чувствительности вихретоковые дефектоскопы сварных соединений с проходными преобразователями имеют повышенную частоту тока питания (более 1 кГц), малую базу (расстояние по оси между возбуждающей и измерительной катушками) и амплитудно-фазочастотную схему обработки сигнала. Фазовая настройка дефектоскопа позволяет отстроиться от мешающего сигнала, получаемого при поперечном смещении трубки внутри проходного преобразователя.

Для ферромагнитных холодных труб дополнительно вводится продольное намагничивание контролируемого участка постоянным магнитным полем до состояния, близкого к техническому насыщению. Это позволяет снизить влияние магнитных структурных неоднородностей на результаты контроля. С помощью электрических фильтров, не пропускающих сигналы низких частот, достигается подавление колебаний электрической проводимости и неравномерного нагрева поверхности сварного шва и тела трубы.

Метод вихревых токов применяют также для контроля структуры и физико-механических свойств материала электропроводящих изделий и их сварных соединений. Для контроля марки стали, качества термической обработки и твердости труб в диапазоне диаметров 1-150 мм используют приборы типа ЭМИД и ВС-10П. Принцип работы этих приборов основан на выделении и амплитудно-фазовой обработке первой гармоники сигнала 50 или 175 Гц, получаемого с проходного преобразователя как при дифференциальном, так и безэталонном способе измерения.

Более универсальными являются многочастотные приборы, использующие для оценки качества изделия ряд частот в диапазоне 0,2—100 кГц, а также накладные преобразователи. Так, в приборе ВС-30НП имеются режимы работы на 0,2; 1,0; 16; 100 кГц, которые согласуются с работой как проходных, так и накладных преобразователей.

Новые возможности открывают приборы, использующие при контроле одновременно несколько частот. При измерениях используется наклонный участок кривой намагничивания ферромагнитного металла током низкой частоты. Другая, более высшая частота позволяет получить несимметричную форму высокочастотной петли гистерезиса, в результате чего появляются четные гармоники высокочастотного сигнала, модулированные низкочастотным полем. Измерение амплитуды второй гармоники высокочастотного сигнала позволяет оценить, в частности, для ряда материалов и сварных соединений твердость контролируемого участка. На данном принципе работает двухчастотный твердомер типа ВФ-10К с накладным преобразователем.

Для автоматизации контроля физико-механических свойств изделий вихретоковые приборы, как правило, имеют устройства автоматической сигнализации о выходе контролируемого параметра за пределы установленного допуска.

Метод вихревых токов наиболее успешно применяют для оценки изменения электропроводности неферромагнитных изделий и их сварных соединений. Серия портативных приборов с накладными преобразователями типа ИЭ и ВЭ позволяет измерять удельную электрическую проводимость контролируемых участков в диапазоне (0,02÷55) 10^6 См/м; при этом погрешность контроля не превосходит 3%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Афанасьев Ю. В.** Феррозонды. Л., Энергия, 1969. 165 с.
2. **Еремин Н. И.** Магнитная порошковая дефектоскопия. М., Машиностроение, 1972. 70 с.
3. **Клюев В. В.** Методы, приборы и комплексные системы для неразрушающего контроля качества продукции заводов черной металлургии. М., Машиностроение, 1975. 76 с
4. **Комплексная** дефектоскопия сварных и паяных соединений. МДНТП, 1975. 70 с.
5. **Контроль** качества сварки/Под ред. В. Н. Волченко. М., Машиностроение, 1975. 328 с.
6. **Неразрушающий** контроль металлов и изделий. Справочник/Под ред. Г. С. Самойловича. М., Машиностроение, 1976. 456 с.
7. **Приборы** для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник/Под ред. В. В. Клюева. М., Машиностроение, 1978, кн. 2. 326 с.
8. **Хусанов М. Х.** Магнитографический контроль сварных швов. М., Недра, 1973. 211 с.

Глава 17

КАПИЛЛЯРНЫЕ, МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ, ТЕПЛОВЫЕ МЕТОДЫ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

КАПИЛЛЯРНЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

Капиллярный метод неразрушающего контроля качества сварных соединений основан на капиллярном проникновении дефектоскопических материалов в дефекты и их контрастном изображении в оптическом излучении. На сварной шов наносят специальную смачивающую жидкость — индикаторный пенетрант, которая под действием капиллярных сил заполняет полости поверхностных дефектов. Дефекты обнаруживаются с помощью жидкости, оставшейся в полостях после удаления ее с поверхности. Индикаторные рисунки дефектов обладают способностью люминесцировать в ультрафиолетовых лучах или имеют специфическую окраску в видимом свете. Заполнение дефектных полостей, открытых с поверхности, специальными свето- и цветоконтрастными индикаторными веществами — основная задача капиллярных методов дефектоскопии.

Для надежного обнаружения дефекта следует возможно большее количество люминофора или красителя извлечь из микрополости дефекта на поверхность. Эффект регистрации дефектов усиливается с помощью средств, способствующих наиболее полному «проявлению» индикаторного вещества (люминесцирующего или цветного), в связи с чем такие средства называют проявляющими.

Технология капиллярного контроля в общем виде состоит из процессов: подготовительного, обработки объекта дефектоскопическими материалами, собственно контроля и окончательной очистки объекта.

Подготовительный процесс представляет собой сочетание технологических приемов удаления покрытий, загрязнений, обезжиривания и сушки контролируемой поверхности с целью очистки от возможных загрязнений, а также следов обезжиривающих и моющих составов.

Контролируемую поверхность шва очищают с помощью легколетучих жидких растворителей, ультразвука, травильных составов, паров органических растворителей, абразивных материалов и т. п.

Полости дефектов заполняются при смачивании контролируемой поверхности или погружении детали в пенетрант, распылением пенетранта с помощью воздуха, инертного газа, ультразвука, путем понижения или повышения давления при нанесении пенетранта, воздействия на объект контроля упругих колебаний частоты звука. Пенетрант удаляют протиркой, промывкой или обдувом контролируемой поверхности. Далее наносят проявитель с помощью струи воздуха или инертного газа, кистью или щеткой, погружением детали, припудриванием или прижатием ленты пленочного проявителя.

Процесс проявления может быть исключен в случае применения специальных индикаторных пенетрантов (самопроявляющихся, гелеобразующих и др.), не предусматривающих нанесение проявителя.

Дефекты выявляются при внешнем осмотре или осмотре с помощью инструмента; затем регистрируют индикаторный след.

При обнаружении дефекта с помощью инструментов используют фотографическое фотоэлектрическое, радиографическое, электроиндуктивное, магнитное, электростатическое и другие взаимодействия соответствующих излучений и полей со специальными индикаторными пенетрантами.

В зависимости от размеров выявляемых дефектов установлены четыре условных уровня чувствительности (табл 1).

1. Условный уровень чувствительности

Условный уровень чувствительности	Размеры дефекта		
	Ширина, мкм	Глубина, мкм	Длина, мм
I	До 1	До 10	До 0,1
II	» 10	» 100	» 1
III	» 100	» 1000	» 10
IV	От 100 и более	От 1000 и более	От 10 и более

Яркость изображения дефектов при люминесцентном методе контроля может находиться в пределах от 34 до 172 нит в зависимости от типа люминесцентного дефектоскопического материала. Поэтому чувствительность следует повышать как созданием специальных пенетрантов, так и увеличением яркости люминесценции существующих пенетрантов путем увеличения ультрафиолетовой облученности в области длинноволнового ультрафиолетового излучения.

Индикаторные пенетранты подразделяют по следующим основным признакам:

по физическому состоянию — на растворы и фильтрующиеся суспензии (для контроля сварных соединений применяют растворы; для материалов со сквозной пористостью — суспензии);

по светоколористическим — на ахроматические, цветные, люминесцентные, люминесцентно-цветные;

по технологическим — на удаляемые органическими растворителями, водосмываемые, водосмываемые после действия очистителя или поверхностно-активных веществ (для последующей эмульсификации), нейтрализуемые гашением люминесценции или цвета.

Проявители подразделяют по физическому состоянию — порошок, суспензия, краска (лак), пленка, химически пассивные, не меняющие колористические свойства индикаторного пенетранта; химически активные (реактивные), меняющие цвет или способность люминесцировать.

Для удобства дефектоскопические материалы создают, испытывают и используют в виде наборов. В набор входят, как правило, индикатор, проявитель, очиститель, тушитель.

Для массового контроля применяют наборы дефектоскопических материалов (табл. 2).

Наиболее характерные процессы капиллярного неразрушающего контроля сварных соединений представлены в табл. 3.

Капиллярные установки подразделяют на стационарные, передвижные и переносные. Стационарные установки состоят из участков пропитки, мойки, сушки, опыления проявляющим порошком и осмотра деталей в ультрафиолетовых лучах. Транспортировка деталей внутри дефектоскопов механизирована. Установки, как правило, предназначены для выявления поверхностных дефектов.

Принцип действия стационарной установки КД-20Л основан на возбуждении яркой видимой люминесценции специальных составов, заполняющих полости дефектов, под действием ближнего ультрафиолетового излучения Дефекты выявляют визуально. В установке используют девять специализированных источников излучения в черных колбах, защитное стекло и гибкий экран, поглощающие ультрафиолетовое излучение, не люминесцирующие под его воздействием и прозрачные в видимом свете.

Для облучения ультрафиолетовым потоком крупногабаритных объектов, подвергаемых местному люминесцентному капиллярному или магнитно-люминесцент-

2. Наборы дефектоскопических материалов

Отраслевой шифр набора	Условный уровень чувствительности	Рабочие температуры, °С	Отраслевой шифр набора	Условный уровень чувствительности	Рабочие температуры, °С
Люминесцентный метод			**Цветной метод**		
ЛЮМ	III	—	К-М	I	−40—+40
ЛЮМ-А	I	+20	ДК-1	II	+8—+40
ЛЮМ-А2	I	+20	ДК-3	I	+8—+40
ЛЮМ-А3	II	+20	ДК-4	II	+8—+40
ЛЮМ-Б	II	+20	ДК-6	II	−40—+8
ЛЮМ-Б2	II	+20	ДК-7	II	+8—+40
ЛЮМ-В3	II	+20	**Люминесцентно-цветной метод**		
ДК-2	I	+8—+40	Аэро-12А	1 (люм) / 2 (цвет)	0—40
ДК-5	II	−40—+8			

Примечание. Шифры материалов см. [3] (том I, с. 154—155).

ному неразрушающему контролю, применяют передвижную установку КД-21Л. Установка смонтирована на передвигаемом на колесах каркасе и имеет следующие основные узлы: облучатель; охлаждаемый водой светофильтр; отклоняющее зеркало в поворотной головке, блок питания. В установке используется длинноволновое ультрафиолетовое излучение от газоразрядной ртутной лампы ДРШ-1000 мощностью 1000 Вт.

Подвесные УФ-облучатели спроектированы на базе использования газоразрядных источников в черной колбе из специального стекла.

Среди средств выявления дефектов малых размеров наиболее широко применяются бинокулярные микроскопы. Они имеют шарнирную рычажную подвеску, позволяющую осматривать крупные объекты. Микроскопы выпускаются для диапазона фокусных расстояний 190—390 мм.

Удобным средством осмотра мелких сварных объектов являются также настольные крупногабаритные лупы с собственным люминесцентным источником видимого или ультрафиолетового света.

Для выявления поверхностных дефектов в различных изделиях по отдельным участкам применяют переносной ультрафиолетовый облучатель КД-31Л с ртутным высокого давления четырехэлектродным источником излучения мощностью 125 Вт. Диапазон длин волн ультрафиолетового излучения 315—400 нм, тип фильтра УФС6.

В производственных условиях с низковольтной сетью электропитания может быть использован электробезопасный ультрафиолетовый облучатель КД-32Л. Он содержит семь люминесцентных источников излучения ЛУФ4-1 — ртутных с автоматическим зажиганием, в колбе из черного стекла, мощность каждого источника 4 Вт.

Дефектоскопические материалы обладают интенсивной окраской, склонностью к высыханию и другими характерными свойствами. Их наносят на контролируемые объекты из аэрозольных баллонов, содержащих данный продукт, и инертный сжиженный газ — пропеллент (обычно хладон, прежнее название фреон).

Переносные комплекты создаются из однотипных баллонов, заполненных данным набором дефектоскопических материалов. Для выполнения капиллярного контроля сварных соединений цветным и люминесцентным методами в полевых и цеховых условиях машиностроительных и эксплуатационно-ремонтных

3. Технологические процессы капиллярной дефектоскопии сварных соединений

Дефектоскопический комплект (по ОСТ 5.9537—72)	Дефектоскопические материалы	Размеры минимального выявляемого дефекта, мм: Ширина раскрытия	Размеры минимального выявляемого дефекта, мм: Глубина	Интервал рабочих температур, °С	Параметр шероховатости поверхности Ra, мкм	Материал сварного соединения
ДК-2 (люминесцентный)	И-2 О-1 П-1	От 0,0001 до 0,001	Св. 0,02	8—40	3,2	Сталь, цветные сплавы на основе меди и алюминия
ДК-3 (цветной)	И-3 О-1 П-2					
ДК-1 (цветной)	И-1 О-1 П-2	От 0,001 до 0,01	Св. 0,02	8—40	3,2	То же
ДК-4 (цветной)	И-4 О-1 П-2					Цветные сплавы на основе меди
ДК-5 (люминесцентный)	И-5 О-1 П-4			−40÷÷+8		Сталь, цветные сплавы на основе меди и алюминия
ДК-6 (цветной)	И-6 О-2 П-2					Сталь, цветные сплавы на основе алюминия
ДК-7 (цветной)	И-7 О-1 П-1	От 0,01 до 0,5	Св. 0,1	8—40	12,5 (дробеструйная обработка)	То же

Примечание. *Индикаторные жидкости*: И-1: бензин 300 см³, скипидар 600 см³, нориол А или Б 100 см³, краситель жирорастворимый темно-красный Ж 10 г/л; И-2: нориол А 150 см³, керосин 850 см³; И-3; керосин 500 см³, скипидар 500 см³, краситель жирорастворимый темно-красный Ж 5 г., краситель жирорастворимый темно-красный 5с 5 г; И-4: керосин 500 см³, скипидар 470 см³, ксилол 30 см³, краситель жирорастворимый темно-красный 5 с 10 г; И 5: нориол А 5 см³, бензин 95 см³; И-6: бензин 470 см³, ксилол 30 см³, скипидар 500 см³, краситель жирорастворимый темно-красный Ж 5 г, краситель жирорастворимый темно-красный 5с 5 г; И-7: керосин 200 см³, бензин 300 см³, скипидар 500 см³, краситель жирорастворимый темно-красный Ж 5 г, краситель жирорастворимый темно-красный 5с 5 г. *Очистители*: О-1: ОП-7 (или ОП-10) 10 г, вода до 1000 см³; О-2: спирт этиловый. *Проявители*: П-1: спирт этиловый 500 см³, вода 500 см³, каолин 350—500 г; П-2: бентонит очищенный 40 г, окись магния 150 г, спирт этиловый 1000 см³; ОП-7 (или ОП-10) 5 г; П-4: спирт этиловый 1000 см³, каолин 350 г.

предприятий, а также для неоднократного заполнения аэрозольных баллонов многократного использования дефектоскопическими материалами применяют аэрозольный комплект КД40-ЛЦ с зарядным стендом.

Аэрозольные баллоны скомплектованы по трем типоразмерам в наборы, один из которых обеспечен электроподогревом, что позволяет выполнять капиллярный контроль соответствующими дефектоскопическими материалами при температуре окружающего воздуха до —40° С. Наборы снабжены вспомогательными средствами, необходимыми для проведения контроля (кистями, лупами, переносной электрической лампой, распылительными головками, ветошью, перчатками).

Для осмотра деталей в комплекте КД-40ЛЦ предусмотрен переносной ультрафиолетовый облучатель КД-31Л. Аэрозольные баллоны заправляют на зарядном стенде. В комплекте используют цветные и люминесцентные дефектоскопические материалы. Пропеллент — хладон-12. Давление сжатого воздуха 6 кгс/см². Габаритные размеры большого набора 486 × 236 × 374 мм, среднего 400 × × 165 × 280 мм и малого 400 × 165 × 220 мм.

МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

Для металлографического исследования структуры металлов сварных швов приготовляют шлифы. Шлифы могут иметь различные размеры, конфигурацию и качество подготовки поверхности. Для изучения макроструктуры изготовляют макрошлифы. Темплеты для макрошлифов вырезают таким образом, чтобы на них вместились все основные участки сечения сварного шва, т. е. литой металл и зона термического влияния. Для детального исследования сварного шва изготовляют не менее трех заготовок шлифов: из корня, середины и кратера швов. Плоскость реза должна быть перпендикулярной к направлению шва. Для удобства обработки независимо от толщины свариваемого металла толщина темплетов должна составлять 8—15 мм. Площадь поперечного сечения определяется размерами шва и зоны термического влияния.

После вырезки заготовки подвергаемую анализу сторону шлифуют. Макрошлиф изготовляют на плоскошлифовальном станке. Во избежание деформации и перегрева поверхности образца шлифование осуществляют при обильной подаче охлаждающей жидкости. Абразивный круг должен быть острым, так как иначе неизбежны разогрев и прижоги поверхности образца. Обычно применяют электрокорундовые круги. В процессе шлифования образцы необходимо периодически охлаждать водой. При отсутствии абразивного круга поверхность макрошлифа можно доводить на абразивных водостойких шкурках. Окончательная обработка макрошлифа осуществляется шлифовальной шкуркой.

Для исследования микроструктуры изготовляют микрошлифы. Микрошлифы наиболее целесообразно вырезать из макрошлифов. Для этого на макрошлифе определяют необходимый для изучения участок, очерчивают его и вырезают фрезой, тонким кругом, электроискровым способом или ножовкой.

Размеры поверхности микрошлифа для удобства обработки не должны превышать 20×20 мм. Толщина микрошлифа должна быть равной 10—15 мм. Небольшие образцы значительно удобнее подвергать механической и электролитической обработке.

Для выявления микроструктуры применяют неглубокое травление, в результате которого глубина растравленного слоя составляет не более 10 мкм. При шлифовании абразивами глубина слоя с искаженной структурой даже после тщательной обработки составляет около 50—100 мкм. Следы деформации после обработки фрезой наблюдаются на глубине до 0,2 мм. При этом соблюдают такую же последовательность как и при шлифовании образцов, предназначенных для макроисследования, т. е. обработку начинают наиболее крупнозернистыми абразивными шлифовальными шкурками. При обработке более мелкозернистой шлифовальной шкуркой образец поворачивают на 90°, т. е. изменяют направление обработки, что облегчает определение окончания обработки данной шлифовальной шкуркой. Обработку считают законченной, если видны риски одного направления,

т. е. те, которые появились в результате обработки последней шлифовальной шкуркой.

Удовлетворительные результаты получают при обработке абразивными шлифовальными шкурками. Основной деталью шлифовальных устройств является вращающийся диск, который располагают в горизонтальной плоскости. К диску прикрепляют шлифовальную шкурку с помощью кольца, внутренний диаметр которого на 1—1,5 мм больше диаметра диска. Шлифовальную шкурку зашемляют между торцами диска и кольцом. Наиболее удобным считается диск диаметром 160—180 мм с переменной скоростью вращения. Для шлифов из углеродистых, низко- и среднелегированных сталей частота вращения должна составлять 650—800 об/мин, для шлифов из низкоуглеродистых сталей 450—600 об/мин. Для того чтобы шлифовальная шкурка изнашивалась равномерно, шлифы в процессе обработки следует перемещать от края круга к центру, а затем от центра к краю круга. Окончательное шлифование следует осуществлять с применением пасты. Размеры зерен последовательно применяемых паст 35—30, 10—8 и 4—0,5 мкм.

Полирование пастами осуществляют на высококачественном сукне типа велюр или тонких фетрах, натянутых на вращающийся диск. Кроме фетра можно применять также тонковолокнистый войлок высокой очистки.

Для химического травления применяют растворы кислот, солей и щелочей. Ионы кислотных остатков, взаимодействуя с ионами металла, переводят их в раствор и тем самым разрушают металл. Наиболее активными являются ионы хлора, проникающие через пленки, которые появляются на поверхности металла при травлении. При травлении щелочами в результате взаимодействия раствора щелочей и металлов образуются гидроокиси металлов. Образование комплексных соединений характерно для переходных металлов, к которым относятся железо, хром, никель, титан и др.

Для глубокого травления (макротравления) примешивают наиболее активные реагенты. В некоторых случаях с целью повышения активности реагентов травление осуществляют при повышенных температурах.

Для выявления макроструктуры швов на низкоуглеродистых, низко- и среднелегированных сталях обычно применяют растворы активных кислот (азотной, серной, соляной, пикриновой), их смеси, смеси кислот с хлористыми солями и растворы солей, в частности персульфат аммония. Процесс травления осуществляют как при комнатной температуре, так и с подогревом до 70—80° С и выше. Во всех случаях образцы после глубокого травления необходимо промыть в чистой воде, затем в растворе соды и снова в воде, протерев их мягкой гигроскопичной ватой и просушив.

Во многих случаях при изучении сварных швов литого металла возникает необходимость в исследовании характера кристаллизационных слоев. Для выявления таких слоев на низкоуглеродистых, низко- и среднелегированных сталях применяют травление в растворах серной, хромовой или пикриновой кислот. Травление этими кислотами основано на избирательном растворении в них ферритной составляющей. Кристаллизационные слои на некоторых участках имеют повышенное содержание примесей, поэтому растравливаются неравномерно, что и способствует их проявлению. Кристаллизационные слои можно также выявлять электролитическим травлением.

Активные кислоты интенсивно воздействуют на поверхность металла и максимально растравливают участки, подвергавшиеся пластической деформации, имеющие поры, раковины, значительную неоднородность химического состава, трещины и т. д. Если металл имеет трещины, края их растравливаются в первую очередь и трещины в процессе травления «раскрываются». Поэтому макротравление служит надежным методом их обнаружения.

Для сварных швов на углеродистых, низко- и среднелегированных сталях удовлетворительные результаты дает реактив Гейна ($CuCl_2$ — 53 г и NH_4Cl — 53 г на 1 л воды). Травление осуществляют погружением поверхности образца в реактив в течение 10—60 с. В процессе травления протекает обменная реакция, при которой железо вытесняет медь. Медь осаждается неравномерно. На участках,

где затруднена обменная реакция (наличие пор, трещин, неметаллических включений), осаждается более тонкий слой меди, поэтому металл этих участков растравливается в первую очередь. После травления шлиф промывают водой и ватой снимают медь.

Принципы выявления микроструктуры путем химического травления те же, что и для макроструктуры. Однако в связи с тем, что микроструктуру изучают на обычных оптических микроскопах при увеличениях свыше 100 (но не более 1500 раз), на микроскопах с кварцевой оптикой (ультрафиолетовая микроскопия) и электронных микроскопах при еще больших увеличениях, глубина рельефа, получаемого при микротравлении, должна быть очень небольшой. Поэтому для микротравления используют малоактивные травители, позволяющие постепенно травить очень тонкие слои.

Для микротравления низкоуглеродистых, углеродистых, низко- и среднелегированных сталей в качестве травителей чаще используют слабый раствор кислот в спиртах. Наибольшее распространение получил 2—5%-ный раствор азотной кислоты в этиловом спирте.

В современной металлографии электролитические методы травления и полирования металлов нашли широкое применение. Распространению их способствуют простота, стабильность результатов и возможность выявлять структуру самых различных металлов и их сплавов. С помощью электролитического травления и полирования можно осуществлять раздельное травление фаз и выявлять различные виды химической неоднородности.

Разрешающая способность, т. е. минимальные линейные размеры объекта, видимые невооруженным глазом на расстоянии около 250 мм, равна приблизительно 0,2 мм. При этом угол зрения составляет около 2°. Увеличение оптических приборов определяется отношением угла зрения, под которым глаз видит с помощью такого прибора, к углу зрения, под которым видит невооруженный глаз.

Наиболее простым оптическим прибором, с помощью которого можно рассматривать структурные составляющие размером менее 0,2 мм, является лупа. С помощью лупы можно получать увеличение до 15—20 раз; при больших увеличениях растет искажение изображений под влиянием сферической аберрации. Лупу рационально применять для визуального изучения сравнительно больших поверхностей, например для просмотра поверхности швов после сварки, макрошлифов для оценки общего характера структуры швов и выбора участков, подлежащих микроисследованию и т. д.

Для исследования структуры при увеличениях выше 30 применяют различные микроскопы, в первую очередь металломикроскопы.

В металлографических лабораториях чаще применяют стационарные металломикроскопы, которые по конструктивному выполнению делятся на горизонтальные и вертикальные. К наиболее распространенным металломикроскопам, выпускаемым отечественной промышленностью, относятся горизонтальные МИМ-8М, МИМ-7 и вертикальный МИМ-6.

Для изучения структуры шлифов, имеющих на поверхности микроскопический рельеф, используют интерференционные микроскопы систем МИИ-1 и МИИ-3. С помощью таких микроскопов можно изучать одновременно рельеф, структуру и их взаимосвязь. Интерференционный микроскоп представляет собой сочетание микроскопа и интерферометра. Неровности, которые можно определить с помощью интерференционного микроскопа МИИ-1, находятся в пределах 2—0,027 мкм.

В лабораториях используют электронные микроскопы ЭМ-3 (ускоряющее напряжение до 50 кВ, увеличение до 28 000). Наиболее распространены микроскопы типа УМВ-100 и ЭВМ-100И (ускоряющее напряжение до 100 кВ, увеличение до 40 000), которые позволяют исследовать объекты не только на просвет, но и на отражение. Для изучения металлографического шлифа используют метод отпечатков, т. е. получение тонких пленок, отображающих рельеф структуры. Толщина этих пленок, называющихся репликами, составляет несколько сот ангстрем и более. Материалом для пленок могут служить как органические вещества (коллодиевые реплики), так и неорганические, например различные металлы, титан, тантал, золото, платина и другие, окислы металлов (окисел алюминия), неметаллы (угольные, кварцевые). Пленки-реплики должны отображать тончайшие переходы структуры в пределах разрешения микроскопа, не обнаруживать собственной структуры и иметь достаточно высокие механические свойства. Практический интерес представляет использование сканирующих электронных микроскопов, не требующих применения реплик.

Неметаллические включения анализируют на нетравленном шлифе путем осмотра в светлом и темном полях. Для этого применяют также исследование в поляризованном свете. Поляризованный свет отражается от анизотропных частиц и пропускается анализатором, поэтому анизотропные частицы видны освещенными. При вращении столика с образцом освещенность изменяется от яркой до полного потемнения. Для фотографирования образцы структуры сварных швов должны быть тщательно подготовлены, структурные составляющие выявлены предельно четко, следы пластической деформации полностью устранены. При фотографировании структуры сварных швов хорошие результаты получают, используя изоортохроматические контрастные пластины со светочувствительностью 30—45 единиц. Экспозиция для таких пластин в зависимости от освещенности объекта находится в пределах 1—20 с. Изоортохроматические фотопластины передают полутона, поэтому изображение, полученное с их помощью, позволяет иметь довольно точное представление о структуре.

В тех случаях, когда необходимо передать с максимальной четкостью отдельные структурные составляющие, например границы зерен, применяют изоортохроматические, штриховые, контрастные пластины светочувствительностью 0,5—1,5 единиц. Экспозиция для таких пластин — от 20 с до нескольких минут.

Для получения прочностных характеристик, а также данных об устойчивости сварных швов против хрупкого разрушения, образцы, вырезанные из того или иного сварного соединения, подвергают испытаниям. К таким испытаниям относится измерение твердости. Между твердостью, определяемой методом вдавливания, и пределом прочности пластичных металлов существует количественная зависимость. Эта зависимость нарушается в тех случаях, когда испытуемый материал малопластичен (например, стали, имеющие мартенситную структуру). Однако во всех случаях увеличение прочности сталей определяет повышение твердости.

Микротвердость измеряют на специальных приборах, совмещающих микроскоп для наблюдений структуры и измерения размеров отпечатков с приспособлением для получения отпечатков. Наибольшее распространение для этой цели получил прибор типа ПМТ-3, имеющий два увеличения — 135 и 487.

Твердость, измеренная прибором Роквелла, характеризуется цифрами, полученными на шкалах С (алмазный наконечник, нагрузка 150 кгс), А (алмазный наконечник, нагрузка 60 кгс), В (стальной шарик, нагрузка 60 кгс). Достоинством метода является его экспрессность. При исследовании сварных швов первые усредненные значения твердости обычно получают на приборе Роквелла.

Другой широко распространенный метод — измерение твердости по вдавливанию стального шарика (твердость по Бринеллю). Твердости определяют по диаметру отпечатка, остающегося после вдавливания шарика.

Определять твердость металла сварных швов по методу вдавливания алмазной пирамиды Виккерса рационально в тех случаях, когда ее значения не превышают $HB \cdot 450$, а толщина образцов не менее 2 мм.

Между твердостью и пределом прочности стали имеется следующая зависимость: при HB 120—175 $\sigma_в = HB \cdot 0{,}34$; при HB 175—450 $\sigma_в = HB \cdot 0{,}35$.

Техническая характеристика приборов для измерения твердости приведена в табл. 4.

Металл шва испытывают на растяжение, металл шва и металл зоны термического влияния — на ударный изгиб (на надрезанных образцах), для металла шва определяют чувствительность к старению после наклепа, сварное соединение испытывают на растяжение, ударный разрыв и определяют твердость, сварное соедине-

4. Приборы для измерения твердости

Наименование прибора	Метод измерения	Испытательные нагрузки, кгс	Пределы измерения твердости	Индентор	Погрешность нагрузок, % *
ТШ-2М	Бринелля	187,5; 250; 750; 1000; 3000	*HB* 8—450	Стальной шарик: ⌀ 2,5; 5; 10 мм	±1
ТШП-4	Бринелля	3000; 1000; 750; 250	*HB* 8—450	⌀ 5; 10 мм	±1
ТК-2М	Роквелла	10; 60; 100; 150	*HRC* 25—65	⌀ 1,588 мм	$\frac{\pm 2}{\pm 0,5}$
ТКП-1	Роквелла	10; 60; 100; 150	*HRC* 25—65	⌀ 1,588 мм	$\frac{\pm 3}{\pm 1}$
ТК-14-250	Роквелла	10; 60; 100; 150	*HRC* 25—65	⌀ 1,588 мм	$\frac{\pm 2}{\pm 0,5}$
ТКС-1М	Супер-роквелла	3; 15; 30; 45	—	⌀ 1,588 мм	$\frac{\pm 2,5}{\pm 0,66}$
ТКС-14-250	То же	3; 15; 30; 45	—	⌀ 1,588 мм	$\frac{\pm 2,5}{\pm 0,66}$
ТК-10-250	Роквелла	60; 100; 158	*HRC* 25—65	⌀ 1,588 мм	$\frac{\pm 2,0}{\pm 0,5}$
ТП-7р-1	Виккерса	5; 10; 20; 30; 50; 100	*HV* 8—1000	Алмазная пирамида: угол при вершине 136°	±1
ТПП-2	Виккерса	5; 10	*HV*8 —1500	То же	±2

* В числителе указана погрешность предварительных нагрузок, в знаменателе — общих.

ние испытывают на изгиб (загиб) и сплющивание. Схемы вырезки образцов для различных испытаний, их размеры, форма и обработка определяются нормативными документами.

Образцы для механических испытаний изготовляют из более крупных образцов (определенных участков), вырезанных из сварного соединения. У таких образцов перед разметкой шлифуют торцы и подвергают глубокому травлению до четкого выявления макроструктуры.

После механических испытаний разрушенные образцы подвергают металлографическому исследованию. В первую очередь изучают характер поверхности изломов, затем изготовляют микрошлифы для изучения микроструктуры тех участков, которые находились в зоне разрушения. Детальное металлографическое изучение таких образцов позволяет во многих случаях установить связь между прочностными характеристиками и структурой металла швов.

Химический состав сварных швов чаще определяют с помощью спектрального анализа. Метод спектрального анализа позволяет с высокой точностью определять количественный состав элементов, входящих в металл шва. При спектральном анализе поверхность образца подвергают воздействию дуги или искрового разряда. Пары металла, попадающие в дугу, дают свой, присущий им спектр излучения, который с помощью специальных аппаратов разлагают на аналитические линии. Фиксируя эти линии на фотопленке или наблюдая визуально через оптические устройства путем сравнения с эталонными линиями, находят количественный и качественный состав элементов в сплаве. Повреждаемые участки при обычном усредненном спектральном анализе занимают площадь 0,3—1 мм². Для повышения точности получают данные не менее чем с трех участков.

Для экспрессного качественного спектрального анализа используют стилоскопы СЛ-11А, СЛ-12 и др Точные количественные данные о химическом составе объекта получают на спектрографах типа ДФС-8, ДФС-30, ДФС-39, ИСП-51 и др.

ТЕПЛОВЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

Тепловые методы неразрушающего контроля основаны на исследовании температурного поля дефектов поверхности сварного шва и прилегающих к нему областей в процессе сварки или при последующем нагреве участка контроля. Их успешно используют для контроля тонкостенных изделий как при двустороннем подходе к контролируемой поверхности, так и при одностороннем.

Наиболее широко применяют метод контроля температуры сварочной ванны, коррелирующей с основными параметрами сварочного процесса (напряжением и током сварки, глубиной проплавления и т. д.), который позволяет вводить обратную связь для автоматического регулирования процесса сварки. При нормальном течении сварочного процесса температура ванны должна быть в строго установленных пределах и, наоборот, нарушение сварочного режима приводит к появлению дефектов сварных соединений и изменению температуры сварочной ванны.

В качестве датчика температуры используют либо термопары, либо инфракрасные приемники. Достоинством термопар является их простота, малые габариты, помехоустойчивость, дешевизна. Однако они являются контактными преобразователями и поэтому уступают бесконтактным приемникам инфракрасного излучения — фотосопротивлениям. Другие контактные преобразователи теплового поля, такие, как термоиндикаторы, изменяющие свой цвет или агрегатное состояние при нагреве, люминофоры, жидкие кристаллы и другие могут получить более широкое применение для контроля сварных соединений в будущем.

Качество контактной электросварки также можно оценить по измерению температуры в непосредственной близости от места сварки. В этих случаях приемник инфракрасного излучения устанавливают непосредственно после роликового электрода и его показания сравнивают с сигналом второго аналогичного приемника, удаленного на расстояние 50 см и более. Таким образом удается выявлять дефекты типа непроваров. Качество сварки гарантируется тогда, когда первый приемник показывает установленный диапазон температур, а второй — допустимую разность температур.

Тепловое излучение контролируемого участка фокусируется оптической системой и модулируется для удобства его преобразования в электрический сигнал приемником излучения. В качестве приемников излучения применяют неохлажденные и охлажденные жидким азотом фотосопротивления: сернисто-свинцовые, индий-сгибиум, германиевые и др. Недостатком применения приемников теплового излучения является зависимость их выходного сигнала от коэффициента излучения поверхности образца. Всевозможные неровности, а также наличие окислов, копоти и других загрязнений поверхности приводят к помехе, для уменьшения которой поверхность свариваемых деталей следует подвергать химической обработке (обезжириванию и последующей кислотной и щелочной очистке).

Излучательную способность поверхности можно выравнивать, нанеся специальную краску с высоким коэффициентом излучения на некотором расстоянии от места сварки (во избежание загрязнения места сварки), что уменьшает относительные помехи дуги.

При размещении преобразователя со стороны электрода излучение дуги также является помехой. Эту помеху уменьшают установкой экрана между дугой и преобразователем теплового излучения, а также использованием инфракрасных фильтров (например, из PbS), которые не пропускают излучение с длиной волны менее 2,5 мкм.

Перспективным представляется способ получения информации о температуре поверхности с помощью стекловолоконной оптики. В этом случае устраняется влияние посторонних источников тепла. Стекловолокно размещается в электроде. Оплавление электрода при сварке сопровождается оплавлением стекловолокна с той же скоростью, обеспечивая тем самым постоянный контакт стекловолокна с поверхностью изделия в месте сварки. Так как температура места сварки обычно достаточно высокая, то информацию получают в видимой и ближней инфракрасной области спектра. При таком способе вывода информации к приемнику радикальным образом решается проблема, связанная с изменением коэффициента излучения поверхности.

При тепловом контроле готовых сварных соединений используют нагрев движущимся относительно участка контроля точечным источником тепла и статический нагрев. Источником нагрева служат лампы накаливания, плазмотроны, оптические квантовые генераторы. Исследуемый локальный участок сварного шва нагревается плазмотроном, а тепловое излучение регистрируется радиометром.

Более полную информацию о распределении температур по поверхности сварного соединения дают тепловизоры. Оптическая система тепловизора представляет собой линзовый объектив, который формирует оптическое изображение объекта по его инфракрасному излучению и фокусирует тепловой поток на поверхность приемника излучения. Приемник излучения преобразует падающий на его поверхность лучистый поток в электрический сигнал, который после усиления подается в блок индикации. В целях снижения шумов и влияния температуры окружающей среды на результаты измерений в тепловизорах, как правило, применяют охлаждение приемника жидким азотом. Наиболее сложными устройствами в тепловизоре являются системы разверток изображения теплового излучения объекта с помощью вращающейся призмы и колеблющегося зеркала оптико-механической системы.

5. Техническая характеристика тепловизоров

Параметр	ИФ-10ТВ	БТ-1	АГА-750 (Швеция)
Диапазон регистрируемых температур, °С	От +30 до +200	От +30 до +200	От −20 до +900
Чувствительность, °С	0,5	0,4	0,2
Поле обзора, градусы	10×5	4,5×4,5	20×20
Число кадров в 1 с	12,5	16	25
Мгновенный угол зрения, мрад	3	4	3
Число строк	75	100	280
Рабочая температура приемника излучения, °С	−196	−196	−196

Примечание. Питание — сеть переменного тока: напряжение 220 В; частота 50 Гц.

Видимое изображение теплового рельефа градиента температур получают на экране электронно-лучевой трубки блока индикации. Рабочий диапазон длин волн приемной камеры тепловизора 2,0—5 мкм. Линии одинаковой энергии инфракрасного излучения (изотермы) можно анализировать раздельно. Техническая характеристика тепловизоров приведена в табл. 5.

Для бесконтактного дистанционного контроля температурных перепадов различных объектов применяются приборы-радиометры. Их принцип работы основан на регистрации потока теплового излучения с площадки поверхности контролируемого объекта, размеры которой определяются мгновенным углом поля зрения радиометра и расстоянием до объекта. Вывод информации производится в аналоговой форме на самописец или цифровой вольтметр. В состав прибора входят: оптический блок с объективом, модулятор, приемник излучения, охлаждаемый жидким азотом, измерительный усилитель, индикатор.

Диапазон регистрируемых температур для радиометров типа ИК-10Р, ИК-20Р — 30—700° С, температурная чувствительность 0,5±2° С на уровне 30° С, максимальная погрешность измерения температуры 5%.

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ

Основы применения методов контроля герметичности изложены в ГОСТ 3242—69, ГОСТ 5197—70 и ГОСТ 18353—73. Для определения дефектов сварных соединений труб, а также сосудов и замкнутых систем, работающих под давлением, применяют гидравлические испытания. Сущность их заключается в том, что в изделие подается вода под высоким давлением и после определенной выдержки контролируют наличие течи. Испытания проводят на гидравлических прессах, как правило, с масляным приводом. Для контроля сварных труб диаметром от 6 до 2520 мм используют прессы типа П9225, П921, ПА9229, ПА019, П923, ПБ9337, П9240, П9347 и др., которые позволяют создавать давление в пределах 20—130 кгс/см² и имеют в зависимости от диаметра и длины труб производительность от 12 до 1200 шт/ч. Диаметр выявляемых дефектов до 0,001 мм.

Открытые изделия — баки, цистерны и т. п. подвергают контролю наливом воды до определенного уровня и выявлению места течи после определенной выдержки (0,5—24 ч). Перед контролем сварные швы изделия протирают и сушат с помощью воздуха.

Герметичность сварных и заклепочных соединений определяют также поливом воды под давлением 1—10 кгс/см² с одной стороны и осмотром места течи с другой стороны соединения. При контроле наливом и поливом воды выявляют дефекты диаметром 0,5 мм.

Широкое применение получил способ контроля герметичности сварных соединений керосином. Одну сторону сварного соединения покрывают меловой обмазкой (350—450 г мела или каолина на 2 л воды), а противоположную — обильно смачивают керосином. Места утечки обнаруживают по пятнам керосина на меловой обмазке. Для повышения чувствительности метода в керосине растворяют краски ярких цветов, что позволяет выявлять дефекты диаметром более 0,1 мм.

Более высокую чувствительность имеют люминесцентные методы контроля герметичности, основанные на использовании люминесцентных жидкостей (типа шубекол, ЛЖ-1, ЛЖ-2, ЛЖ-4, ЛЖ-5 и др.) и ультрафиолетовых осветителей, указывающих их проникновение через несплошность сварного соединения. В качестве источников ультрафиолетового света применяют лампы типа ПРК-2, ПРК-4, ДРШ-250 и др. При люминесцентном контроле могут быть выявлены дефекты диаметром до 3—5 мкм.

Катарометрические течеискатели типа ТП7101, ТП7101М, ТП7102 работают на принципе измерения электрического сопротивления нагретой проволоки, изменяющегося в присутствии пробного (избирательного регистрируемого) газа. В качестве пробных газов выбирают водород, гелий, углекислый газ, азот, фреон и т. п., теплопроводность которых существенно отличается от теплопроводности воздуха. Абсолютная чувствительность катарометрических течеискателей к потоку

водорода достигает $2{,}66 \cdot 10^{-7}$ Вт. Чувствительным элементом галогенных течеискателей является платиновый диод, ионный ток которого значительно возрастает при пропускании через промежуток анод—коллектор газов, содержащих галоиды (фреон, четыреххлористый углерод и др.). Чувствительность галогенных течеискателей (типа ГТИ-3А, ГТИ-6, БГТИ-5) к утечкам фреона в атмосферу $1{,}33 \cdot 10^{-7}$ Вт.

Наиболее чувствительными являются масс-спектрометрические течеискатели типа ПТИ-7А, ПТИ-9, СТИ-11, СТИ-1, СТИ-8 и ПТИ-10. Чувствительность их к утечке гелия в вакуумированных объектах достигает $6{,}65 \cdot 10^{-13}$ Вт.

В последнее время появились новые модели течеискателей, в которых в качестве измерительных преобразователей используют инфракрасные абсорбционные газоанализаторы. Инфракрасный течеискатель типа ИГТ-1 имеет чувствительность $1{,}33 \cdot 10^{-8}$ Вт и использует в качестве индикаторной среды закись азота.

На регистрации локальных утечек в виде пузырьков газа основаны разновидности пузырькового метода контроля герметичности: пневматический, пневмогидравлический и вакуумный. При пневматическом методе используют воздух под давлением, равным 1—1,2 рабочего давления, и пенообразующие индикационные вещества на основе мыла, глицерина, порошка лакричного корня, NaCl, CaCl и т. д. Вакуумный метод основан на применении переносных вакуумных камер-присосок, накладываемых на участок контролируемого сварного соединения. В случае наличия несплошности воздух за счет перепада давления поступает в полость камеры; место утечки определяется по пузырькам пенообразующего вещества.

Манометрический метод контроля герметичности основан на регистрации изменения испытательного давления газа или жидкости вследствие наличия несплошности. Измерительный блок, как правило, реализуется на основе серийных преобразователей давления, которые позволяют получить чувствительность течеискателя $6{,}65 \cdot 10^{-6}$ Вт.

При химическом методе аммиаком NH_3 воздействуют на индикаторные вещества на основе фенолфталеина или азотнокислой ртути, которые изменяют при этом свою окраску. Высокую чувствительность, превышающую чувствительность масс-спектрометрического метода, дает радиационный метод, основанный на регистрации малых количеств радиоактивных жидкостей и газов, проникающих через несплошность. Существует также акустический метод контроля герметичности по акустическим колебаниям воздуха частотой порядка 40 кГц, возникающим при прохождении газа или воздуха через несплошность, а также искровой метод обнаружения течи вакуумных систем по изменению характера высокочастотного разряда, возбуждаемого электродом течеискателя. Получают распространение и новые методы контроля герметичности — лазерные газоаналитические, голографические интерференционные, с детекторами электронного захвата, тонкопленочными полупроводниковыми детекторами и т. д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Боровиков А. С.** Капиллярные методы дефектоскопии. М., Машиностроение, 1968. 33 с.
2 **Карякин А. В., Боровиков А. С.** Люминесцентная и цветная дефектоскопия. М., Машиностроение, 1972. 240 с.
3 **Приборы** для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник/ Под ред. В. В. Клюева. М., Машиностроение, 1978, кн. 1. 392 с.
4. **Россошинский А. А.** Металлография сварных швов. Киев, Машгиз, 1961. 208 с.
5. **Неразрушающие** методы контроля сварных соединений/С. В. Румянцев, В. А. Добромыслов, О. И. Борисов и др. М., Машиностроение, 1976. 335 с.

Глава 18

СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ

В данной главе рассмотрены возможности и пути применения вероятно-статистических методов для решения основных задач управления качеством в сварочном производстве. Даны элементы прикладной математической статистики, список основных обозначений и формул, а также наиболее важные таблицы для вероятностных расчетов. Ряд математических вопросов освещен кратко или только упомянут. В этих случаях можно использовать работы [1—3, 7, 9, 11—13]. Отдельные примеры расчета подробно изложены в работах [4—6, 8, 10].

Решаемые задачи. Функция контроля качества пассивна — это разделение продукции на годную и негодную (см. гл. 13). Функция управления качеством активна — это установление, обеспечение и поддержание необходимого уровня качества продукции при ее разработке, производстве и эксплуатации или потреблении путем систематического контроля качества и целенаправленного воздействия на условия и факторы, влияющие на качество (термины по ГОСТ 15467—70). Для перехода на производстве к системе управления качеством активные предупредительные функции контроля следует расширять, что возможно только на базе статистических методов. При этом рассматривают результаты измерений либо как *случайные события*, либо как *случайные величины*. Используя вероятностные модели как предмет теории вероятностей и статистическую обработку данных как предмет математической статистики, можно сформулировать и решать следующие основные пять задач управления качеством, актуальных для сварочного производства: статистический анализ; статистическое регулирование качества; вероятностное обоснование планов контроля и норм допустимости дефектов; вероятностная оценка достоверности контроля (подробнее см. [13]). Первые две из перечисленных задач следует решать систематически на всех участках производства, от цехов до головных отраслевых институтов, где должны анализировать уровень качества по отрасли и разрабатывать меры оптимизации качества. Последние три задачи должны решать главным образом головные технологические институты совместно с производством при освоении новых изделий и технологических процессов.

ЭЛЕМЕНТЫ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ

Статистические распределения. Случайные события отражают результаты испытаний только по *альтернативному* (качественному) признаку, с оценкой да—нет (годен—негоден). Случайные величины отражают *количественные* результаты испытаний или измерений. При оценке качества используют следующие основные обозначения, понятия и формулы:

$P(x)$, p, Вер — вероятность;

$P(A) = \dfrac{m}{n}$ — статистическая вероятность события A как устойчивая частота m его появления из общего числа n произведенных опытов;

γ — доверительная вероятность (обычно величина, близкая к единице);

$\alpha = 1 - \gamma$ — уровень значимости (обычно $\alpha \ll 1$);

X — случайная (переменная) величина, которая в результате опытов может принять разные, заранее неизвестные значения $x = x_i$ в пределах определенного интервала;

N — объем генеральной совокупности или партии величин x, объединенных каким-либо общим признаком;

n — объем выборки, взятой в заданном порядке из генеральной совокупности или партии N;

$M(X) = m_X = a \approx \overline{X}$; $\overline{X} = \sum^{N} x_i p_i$ — математическое ожидание (м. о.) случайной величины и формула для среднего в генеральной совокупности N дискретных величин;

$M^*(X) = \overline{X} \approx \bar{x}$; $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum^{n} x_i$ — эмпирическое (выборочное) среднее арифметическое значение ($\bar{x}_n$ или $\bar{x}^*$) по n опытам;

$D(X) = D_X = D = \sigma^2$; $\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum^{N} (x_i - \overline{X})^2$ — генеральная дисперсия;

$D^* = D_X^* = S_X^2 = s^2 = \frac{1}{n} \sum^{N} (x_i - \bar{x})^2$ — эмпирическая дисперсия (для $n > 30$);

$s^* = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum^{n} (x_i - \bar{x})^2}$ — эмпирическое (выборочное) квадратичное отклонение — «исправленное» для $n \leqslant 30$;

z_p, t_p — квантили нормального распределения (z) и распределения Стьюдента (t), соответствующие вероятности p и измеряемые числом квадратичных отклонений от $x = 0$ до $x = z$ или $x = t$;

$v = \frac{\sigma}{\overline{X}}$; $v^* = \frac{s}{\bar{x}}$ — коэффициенты вариации — генеральный и выборочный;

$D_{\bar{x}} = \frac{D}{n} \approx \frac{D^*}{n}$; $\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \approx \frac{s}{\sqrt{n}}$ — дисперсия и квадратичное отклонение среднего арифметического;

$F(x) = \text{Вер}\,[X < x]$; $F^*(x) \approx F(x)$ — теоретическая функция $F(x)$ распределения вероятностей случайной величины и ее эмпирическое значение $F^*(x)$;

$f(x) = F'(x)$; $f^*(x) \approx f(x)$ — плотность распределения (теоретическая и эмпирическая) вероятностей случайной величины;

$f(x/y)$; $f(y/x)$ — условные распределения для x при данном y (и наоборот);

$r = r_{xy}$ — коэффициент корреляции, характеризующий тесноту связи величин $X - Y$;

$s_{yx} = s_y \sqrt{1 - r^2}$ — квадратичное отклонение значений от линии регрессии;

β, α — риски потребителя и поставщика;

γ; $\gamma_\Sigma = 1 - (\alpha + \beta)$ — условная достоверность выборочного контроля;

$\varkappa_\beta$, $\varkappa_\alpha$ — вероятности недобраковки и перебраковки.

В приведенных обозначениях термин *среднее квадратическое отклонение* сокращен как квадратичное отклонение. Отдельные понятия обозначены одновременно несколькими символами для удобства их написания в формулах и с учетом облегчения использования специальной литературы. Если в совокупности случайных величин появление i-х значений происходит с частотой $m_i > 1$, то в формулах для $\bar{x}$, σ, s вводят множитель m_i. Индекс x в обозначениях и формулах для σ_X, s_X, m_X и других, как правило, для краткости опускается.

Статистическим распределением называют зависимость между возможными значениями $x = x_i$ случайной величины X и вероятностями $p(x)$ их появления (табл. 1).

Распределение прерывной случайной величины X изображают как ряд распределения, т. е. как таблицу, где перечислены возможные значения x_i и соответствующие им вероятности p_i.

x_i	x_1	x_2	. . .	x_n
p_i	p_1	p_2	. . .	p_n

Наглядным представлением ряда служит многоугольник распределения в координатах $p_i - x_i$.

Для непрерывных случайных величин модель распределения используют в интегральном и дифференциальном видах. Интегральный вид модели или функция распределения $F(x)$ — это зависимость вероятности события ($X < x_i$) от текущей переменной x.

Производную функции распределения $f(x) = F'(x)$ называют плотностью распределения или плотностью вероятности. Тогда

$$F(x) = \text{Вер}\,[X < x] = \int_{-\infty}^{x} f(x)\,dx. \qquad (1)$$

В пределах от $-\infty$ до $+\infty$ интеграл, описывающий всю площадь под кривой $f(x)$, равен единице:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x)\,dx = 1. \qquad (2)$$

Числовые характеристики. Законы распределения служат полной, исчерпывающей характеристикой случайных величин [7]. Но для практики часто нет необходимости описывать случайную величину полностью, исследуя функции $F(x)$, $f(x)$ или ряд распределения. Бывает вполне достаточно знать только существенные черты — числовые характеристики распределения (какое-то среднее значение, степень разбросанности этих значений и т. д.).

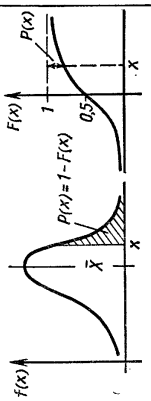
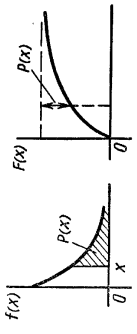
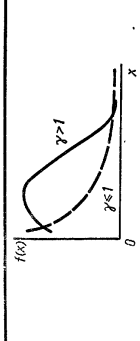
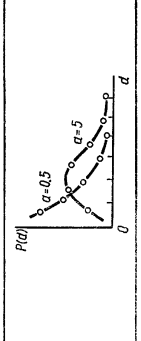
Эти числовые характеристики могут быть двух родов: теоретические и эмпирические. Первые иногда называют параметрами распределений случайных величин, а вторые — выборочными или статистическими оценками этих параметров. Параметры распределений (обозначаемые крупными буквами) обычно детерминированные величины, в то время как выборочные оценки — величины случайные. Разница между параметром распределения и его оценкой тем меньше, чем больше число наблюдений n. Эмпирические значения обозначены малыми буквами (x, y) или отмечены звездочкой (*). Если нужно оттенить ту или иную величину, как оценку какого-либо параметра, то над ней ставят знак волны ($\sim$).

Характеристикой центра распределения служит математическое ожидание $M(x)$. Его оценивают, определяя среднее значение $\overline{X}$ или эмпирическое *среднее арифметическое значение* $\bar{x}$. По результатам n измерений, в которых m_i — число одинаковых i-х результатов, имеем

$$\bar{x} = \sum^{n} x_i \frac{m_i}{n}. \qquad (3)$$

Как центр x_{Me} упорядоченного вариационного ряда значений величины x находят медиану x_{Me}. Она делит площадь под кривой плотности распределения

1. Физические и статистические модели для анализа качества сварных соединений

Физическая модель	Статистическая модель-распределение	Числовые параметры	Эскиз
Ошибка измерений, качество (прочность) основного металла и сварных соединений, доля брака (при больших партиях), размеры сортамента и т. п.	Нормальное (Гаусса) $f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}$ $F(x) = \int_{-\infty}^{x} f(x)\,dx$	$m_X = a$ $D = \sigma^2$	
Характеристики реальной дефектности: размеры реальных дефектов, их относительные площади, междефектные длины; вероятность безотказной работы и т. п.	Экспоненциальное $f(x) = \lambda e^{-\lambda x}$ $F(x) = 1 - e^{-\lambda x}$ $P(x) = e^{-\lambda x}$	$m_X = \frac{1}{\lambda}$ $D = \frac{1}{\lambda^2} = \sigma^2$	
Размеры и другие характеристики обнаруженных дефектов. Время безотказной или безотказной работы	Вейбулла $f(x) = \frac{\gamma}{\beta} x^{\gamma-1} \times$ $\times \exp\left[-\frac{x^\gamma}{\beta}\right]$	$m_X = b_\gamma \beta^{1/\gamma}$ $\sqrt{D} = c_\gamma \beta^{1/\gamma}$	
Вероятность $P(x = d)$ попадания d дефектных элементов в выработку n (при $n \leqslant 0{,}1\,N$ и $q \leqslant 0{,}1$)	Пуассона $P(d) = \frac{a^d}{d!} e^{-a}$ $a = n\bar{a}$	$m_X = a$ $D = a$	

пополам. Кроме $\bar{x}$ и x_{Me} иногда используют моду x_{Mo}, которая соответствует наибольшей вероятности значений x.

Отклонение (рассеяние) единичных значений случайной величины относительно центра распределения характеризуют *дисперсией* $D(X)$ или *средним квадратичным отклонением* $\sigma = \sqrt{D}$.

Для выборочного среднеквадратичного отклонения s при $n \leqslant 30$ в знаменателе вместо n подставляют $(n-1)$. Характеристику σ (или s) называют иногда стандартным отклонением или «стандартом». В приближенных расчетах (особенно при $n \leqslant 12$) вместо σ и s используют легко вычислимую меру рассеяния — *размах* ω как разность между крайними значениями вариационного ряда. Как относительную меру рассеяния применяют *коэффициент вариации* v — отношение квадратичного отклонения к средней арифметической.

Дисперсия $D_{\bar{x}}$ среднего арифметического одинаково распределенных взаимно независимых n случайных величин в n раз ме ьше дисперсии каждой из этих величин. Квадратичное отклонение $\sigma_{\bar{x}}$ соответственно в $\sqrt{n}$ раз меньше, чем σ.

Нормальное распределение. Распределение Гаусса занимает среди других распределений особое положение. Оно чаще встречается на практике и является предельным законом, к которому приближаются другие распределения. По теории вероятностей (теорема Ляпунова) сумма достаточно большого числа независимых или слабо зависимых случайных величин, подчиненных каким угодно законам распределения, приближенно подчиняется нормальному закону. Нормальное распределение может быть *общим и нормированным*.

Интегральная функция *общего* нормального распределения $F(x)$ с произвольными параметрами — математическим ожиданием $m_x \approx \bar{x}$ и дисперсией σ^2 имеет вид, указанный в табл. 1.

Нормированное и центрированное нормальное распределение $F_0(x)$ с параметрами $m_x = 0$ и $\sigma = 1$ получают при подстановке, т. е. при замене переменных $z = \frac{x - m_x}{\sigma}$. Тогда

$$F_0(x) = \int_{-\infty}^{x} \varphi(x)\,dx = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x} e^{-\frac{z^2}{2}}\,dz. \qquad (4)$$

Для функции F_0, обозначаемой так же, как Φ^*, и для других форм интеграла вероятностей в литературе [1, 2, 7] имеются таблицы (см. также табл. 2).

Вероятность попадания в заданный интервал A, B нормальной случайной величины X определяют из выражения

$$\text{Вер}\,(A < X < B) = \int_{A}^{B} f(x)\,dx = \Phi\left(\frac{B - m_x}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{A - m_x}{\sigma}\right). \qquad (5)$$

Вероятность заданного отклонения, т. е. вероятность того, что отклонение случайной величины X по абсолютной величине меньше заданного положительного числа δ равносильна осуществлению неравенства

$$|X - a| < \delta \text{ или } -\delta < (X - a) < \delta.$$

Пользуясь формулой (5), получим

$$\text{Вер}\,|X - a| < \delta = 2\Phi\left(\frac{\delta}{\sigma}\right). \qquad (6)$$

Эмпирическое распределение случайных величин представляют обычно в виде полигона, гистограммы или кумулятивной диаграммы интервального ряда частот. Аппроксимирующая их кривая есть соответственно либо плотность вероятностей

2. Таблица значений функции Лапласса — нормального распределения

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{z^2}{2}} dz; \quad \Phi^*(x) = \Phi(x) + 0{,}5$$

x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$
0,00	0,0000	1,30	0,4032	2,60	0,4953
0,10	0,0398	1,40	0,4192	2,70	0,4965
0,20	0,0793	1,50	0,4332	2,80	0,4974
0,30	0,1179	1,60	0,4452	2,90	0,4981
0,40	0,1554	1,70	0,4554	3,00	0,49865
0,50	0,1915	1,80	0,4641	3,20	0,49931
0,60	0,2257	1,90	0,4713	3,40	0,49966
0,70	0,2580	2,00	0,4772	3,60	0,499841
0,80	0,2881	2,10	0,4821	3,80	0,499928
0,90	0,3159	2,20	0,4861	4,00	0,499968
1,00	0,3413	2,30	0,4893	4,50	0,499997
1,10	0,3643	2,40	0,4918	5,00	0,499997
1,20	0,3849	2,50	0,4938		

$f(x)$, либо, для кумулятивной диаграммы накопленных частот, функция вероятностей $F(x)$.

При построении диаграмм число интервалов ряда частот не должно быть слишком большим. Кроме того, частоты в мелких интервалах могут вызывать незакономерные значительные колебания (пилу). При завышенной величине интервалов свойства распределения отображаются слишком грубо. При большом числе наблюдений обычно принимают 10—20 интервалов.

Для неодинаковой длины интервалов, которые удобно делать более узкими в области наибольшей плотности распределения, вместо абсолютных частот m_i применяют относительные частоты или частости $\nu_i = \frac{m_i}{n}$.

Близость эмпирической кривой к тому или иному теоретическому закону распределения проверяют критериями согласия, а приближенно — также с помощью вероятностных бумаг.

Для проверки гипотезы о соответствии эмпирического распределения теоретическому закону наиболее часто применяют *критерий Пирсона* или как его иначе называют хи — квадрат (χ^2). Его имеет смысл применять, когда число интервалов k и опытов в них m_i достаточно велико, например $m_i \geqslant 5$—10 [2].

Для проверки гипотезы о равенстве двух выборочных дисперсий при нормальном распределении используют *критерий Фишера*. Он равен отношению двух независимых оценок дисперсий s_1^2 и s_2^2, имеющих степени свободы ν_1 и ν_2.

Критерий Кохрена используют для проверки гипотезы о равенстве нескольких выборочных дисперсий при одинаковом объеме выборок.

Для проверки гипотезы о равенстве двух выборочных средних значений случайной величины, имеющей нормальный закон распределения, используют *критерий Стьюдента*.

Во всех случаях, если гипотеза о согласии не подтверждается, то следует либо повторить (уточнить) эксперимент, либо искать закон распределения, более подходящий для описания данных эксперимента. Подробнее о критериях согласия см. [1, 2, 7 и др.].

Вероятностные бумаги (или сетки) позволяют существенно упростить обработку статистических данных. Например, изменив соответствующим образом масштаб по оси ординат, можно получить из S-образной интегральной кривой

прямую линию. Такие графики можно использовать для распределений нормального, экспоненциального, Вейбулла и др.

Откладывая накопленные относительные частоты на оси ординат, а значения x_i признака по интервалам — на оси абсцисс, получают серию точек. Если эти точки оказываются примерно на одной прямой, то подтверждается совпадение эксперимента с выбранным теоретическим законом его описания. В работе [5] даны примеры расчета средних значений $\bar{x}$ и квадратичных отклонений s по вероятностным бумагам нормального закона и распределения Вейбулла. Порядок подобных вычислений изложен в соответствующих ГОСТах по прикладной статистике (ГОСТ 11.001—73, ГОСТ 11.002—73, ГОСТ 11.003—73, 11.004—74, ГОСТ 11.005—74, ГОСТ 11.006—74, ГОСТ 11.007—75, ГОСТ 11.008—75).

Доверительные вероятности. При контроле процессов или при оценке качества продукции выводы относительно генеральной совокупности принимают на основе выборочного метода. Выборочные характеристики по которым делают статистические выводы, называют *оценками* генеральных характеристик. Если контролируемый параметр имеет нормальное распределение, то иногда бывает достаточно анализировать только две характеристики выборки: $\bar{x}$ и s^2, которые являются оценками генеральных параметров $M(X)$ и σ^2. Эти оценки называют *точечными*. Они в значительной мере случайны и при малых выборках могут привести к существенным ошибкам.

Интервальной называют оценку, которая определяется двумя числами — концами интервала. Это позволяет установить точность и доверительную вероятность оценок, т. е. их достоверность.

Точность оценки по количественному признаку характеризуют величиной интервала δ, который «покрывает» неизвестный параметр с заданной доверительной вероятностью γ (которую иногда называют надежностью).

Практически можно принять, что количественный признак X генеральной совокупности распределен нормально, причем среднее квадратичное отклонение σ этого распределения известно. Требуется оценить неизвестное математическое ожидание $M(X) = a$ по выборочной средней $\bar{x}$.

Если случайная величина X распределена нормально, то выборочная средняя $\bar{x}$, найденная по независимым наблюдениям, также распределена нормально [1, 2] с параметрами

$$\bar{X} \approx M(\bar{x}) = a; \quad \sigma(\bar{x}) = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}.$$

При оценке необходимо, чтобы выполнялось соотношение

$$\text{Вер}(|\bar{x} - a| < \delta) = \gamma. \tag{7}$$

Вероятность осуществления неравенства (7) выражают согласно формуле (6) через табличную функцию Лапласа $\Phi(z)$:

$$\gamma = \text{Вер}(|\bar{x} - a| < \delta) = 2\Phi(z) = 2\Phi\left(\frac{\delta\sqrt{n}}{\sigma}\right), \tag{8}$$

где $z = z_\gamma$ — квантиль функции $\Phi(z)$ при заданном γ.

Тогда точность оценки

$$\delta = z_\gamma \frac{\sigma}{\sqrt{n}}; \tag{9}$$

окончательно имеем

$$\text{Вер}\left(\bar{x} - z\frac{\sigma}{\sqrt{n}} < a < \bar{x} + z\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right) = 2\Phi(z) = \gamma. \tag{10}$$

3. Значения t распределения Стьюдента $t_\gamma = t(\gamma, n)$

n	Доверительная вероятность γ			n	Доверительная вероятность γ		
	0,95	0,99	0,999		0,95	0,99	0,999
5	2,78	4,60	8,61	20	2,093	2,861	3,883
6	2,57	4,03	6,86	25	2,064	2,797	3,745
7	2,45	3,71	5,96	30	2,045	2,756	3,659
8	2,37	3,50	5,41	35	2,032	2,729	3,600
9	2,31	2,36	5,04	40	2,023	2,708	3,558
10	2,26	3,25	4,78	45	2,016	2,692	3,527
11	2,23	3,17	4,59	50	2,009	2,679	3,502
12	2,20	3,11	4,44	60	2,001	2,662	3,464
13	2,18	3,06	4,32	70	1,996	2,649	3,439
14	2,16	3,01	4,22	80	1,001	2,640	3,418
15	2,15	2,98	4,14	90	1,987	2,633	3,403
16	2,13	2,95	4,07	100	1,984	2,627	3,392
17	2,12	2,92	4,02	120	1,980	2,617	3,374
18	2,11	2,90	3,97	∞	1,960	2,576	3,291
19	2,10	2,88	3,92				

Примечание. γ — вероятность того, что t отличается от нулевого среднего в любую сторону не более чем на $t_{1-\gamma} = t_\alpha$ при объеме выборки n.

Смысл полученного выражения таков: с доверительной вероятностью или с надежностью γ можно утверждать, что доверительный интервал $\bar{x} \pm \delta$ покрывает неизвестный параметр m_X. Квантиль z определяют из равенства $2\Phi(z) = \gamma$ или $\Phi(z) = \frac{\gamma}{2}$, задаваясь γ по таблице функции Лапласа (см. табл. 2).

Если среднее квадратичное отклонение σ неизвестно, то вместо σ используют его выборочную «исправленную» оценку s, но функцию Лапласа заменяют распределением Стьюдента. Тогда

$$\delta = t_\gamma \frac{s}{\sqrt{n}}. \qquad (11)$$

Здесь вместо σ записывают s, а вместо квантиля z_γ — квантиль Стьюдента t_γ, определяемый по табл. 3. (В отличие от z_γ, здесь требуется знать объем выборки n, так как $t_\gamma = t_{\gamma, n}$).

Корреляция и регрессия. Принято различать функциональные и вероятностные (стохастические) связи между различными величинами. Традиционно применяемой в технике служит функциональная зависимость переменных x — y, когда каждому возможному значению x однозначно соответствует определенное y (например, законы Ома и Гука).

В отличие от функциональной зависимости при вероятностной связи между двумя (или более) величинами каждой паре (или более) значений x, y соответствует вполне определенная вероятность. Степень связи между двумя величинами называют *корреляцией*. Корреляционную зависимость характеризуют *формой* и *теснотой* связи. Форму корреляционной связи принято описывать функцией или кривой регрессии — линейной, квадратной, показательной и т. д.

Тесноту корреляционной связи измеряют теоретическим или эмпирическим корреляционным отношением. Когда связь между случайными переменными X и Y линейна, частным случаем корреляционного отношения служит коэффициент корреляции r, который может принимать значения от -1 до $+1$. При $r = 1$ или $r = -1$ наблюдается функциональная связь между X и Y, а в случае $r = 0$ величины X и Y независимы.

Коэффициент корреляции r оценивают по его выборочному значению r^*:

$$r = r^* = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{n\sigma_x\sigma_y}. \qquad (12)$$

В частном случае стохастическую связь называют статистической связью, когда условное математическое ожидание $M(Y\ X)$ одной случайной переменной является функцией другой случайной переменной. Обычно при ограниченном объеме выборок идут на упрощение и от математического ожидания переходят к условному среднему значению $\bar{y}(x)$. Зависимость между одной случайной переменной и условным средним значением другой случайной переменной называют корреляционной.

Кривой регрессии Y по X называют условное среднее значение случайной переменной Y, рассматриваемой как функция от x, т. е. $\bar{y}(x) = f(x)$.

При изучении двухмерной корреляции по выборочным данным можно изобразить пару случайных величин как поле корреляции или построить по этим же данным корреляционную таблицу. Этой таблицей удобно пользоваться при вычислении коэффициентов корреляции и параметров уравнения регрессии [1, 2].

Обычно линейная регрессия имеет вид

$$y = \bar{y}(x) = a + bx = a + r\frac{s_y}{s_x}x,$$

где a и b — коэффициенты (параметры) регрессии.

Параметры в уравнении регрессии определяют по способу наименьших квадратов. При этом ищут такую прямую линию, сумма квадратов отклонений измеренных значений y_i от которой была бы минимальной.

Регрессионный анализ заключается в оценке распределения одной из случайных величин, например Y, при заданных значениях другой величины X (или нескольких величин X_1, X_2, ..., X_k). Его используют для установления связи между двумя величинами в экспериментах, где одну из величин рассматривают как неслучайную и ее значения задают заранее при планировании экспериментов. Примером такого эксперимента служит установление связи между величиной дефектности X и прочностью изделий Y. Дефектность здесь рассматриваем как неслучайную величину. Исследуемая прочность есть случайная величина, а зависимость y — x представляет регрессию.

Опуская промежуточные рассуждения и формулы, приведем программу (алгоритм для ЭВМ) расчета характеристик корреляционных связей и параметров линейной регрессии.

Исходные данные:

$$x_1, x_2, \ldots, x_i, \ldots, x_n;$$
$$y_1, y_2, \ldots, y_i, \ldots, y_n.$$

1. Вычисляют

$$\sum x,\ \sum y,\ \sum x^2,\ \sum xy,\ \sum y^2;$$
$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n};\quad \bar{y} = \frac{\sum y}{n}.$$

2. Определяют коэффициент корреляции

$$r_{xy} = r = \frac{K_{xy}}{s_x s_y},$$

где ковариация

$$K_{xy} = \frac{1}{n-1}\left[\sum xy - \frac{1}{n}\sum x \sum y\right];$$

среднеквадратичные отклонения s_x (или s_y):

$$s_x^2 = \frac{1}{n-1}\left[\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}\right];$$

коэффициенты уравнения регрессии $y = a + bx$; $a = \bar{y} - b\bar{x}$; $b = \frac{K_{xy}}{s_x^2}$;

стандартное отклонение линии регрессии

$$s_{y/x} = s_y\sqrt{1-r^2}.$$

По результатам расчета строим прямую регрессии, определяем границы $s_{y/x}$, наносим точки x, y и делаем вывод о виде и силе связи $Y(X)$.

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И СТАТИСТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА

Статистический анализ и регулирование качества должны обеспечить четкую обратную связь от контроля к технологии по трем направлениям (каналам) — техническому, экономическому и психологическому. Организация технического канала должна быть оперативной, а документация простой и понятной как сварщикам, так и контролерам. Примеры форм КУ-1 и КСР-1 даны в работах [4—6, 8, 10]. На всех ступенях производства от рабочего места до головного отраслевого института документация должна отражать изменение технологии, причины брака и пути его уменьшения до разумного уровня.

Экономическая обратная связь должна обеспечивать ясную и логичную систему персональных доплат за качество, например доплату «за балльность» и т. п. Психологически производитель должен быть всегда готов к контролю его работы, поэтому контроль должен быть либо сплошным, либо выборочным — случайным.

Показатели качества сварки целесообразно использовать в двух видах: как альтернативные (да—нет) и как количественные (измеримые). Альтернативные показатели — это обычно доля брака $Б = \frac{n_Б}{n}$ или доля дефектных элементов $q = \frac{n_Д}{n}$. Их вычисляют, исходя из числа бракованных $n_Б$ или дефектных $n_Д$ элементов в выборке из n единиц продукции — стыков или участков шва.

Показатель доли брака $Б$ удобен для укрупненной оценки продукции на производственном участке и в отрасли. Однако анализ причин дефектов по альтернативным показателям $Б$ и q совершенно не эффективен, поскольку, не зная виды и другие характеристики дефектов, нельзя выяснить причины их появления.

Для количественной оценки засоренности стыков дефектами более целесообразны показатели, отражающие размеры, число, виды дефектов (трещины, поры и т. п.) и их тип (компактные, удлиненные и др.) в контролируемом элементе (табл. 4).

Сравнительно просты показатели среднего числа несплошностей $\bar{m}$ в стыках и средней их протяженности $\bar{l}$ отдельно для всех обнаруженных $m_Д$, $l_Д$ или для недопустимых $m_Б$, $l_Б$ дефектов. Структурные показатели $m\left(\frac{Д}{Б}\right)$, $l\left(\frac{Д}{Б}\right)$ дефектности стыков комплексно отражают отдельные значения, а также среднее число

или протяженность на один стык дефектов разных видов. Эти показатели целесообразно записывать как перечень или сумму цифр, взятых в определенной последовательности, например *П—Ш—Н*, соответственно видам дефектов: поры, шлаки, непровары и т. п.

При сравнении разных нормативных документов наиболее эффективен показатель $g_э$ эквивалентной дефектности. Однако этот показатель сложен из-за необходимости подсчета площадей всех дефектов и некоторой неопределенности коэффициентов ρ_i приведения разных видов несплошностей к порам (исходному дефекту).

В приведенном примере (табл. 4) значения $g_э$ рассчитаны отдельно по всем обнаруженным несплошностям $g_{эД}$ и по недопустимым дефектам $g_{эБ}$. Причем шлаки и непровары приняты соответственно в 2 и 8 раз более опасными чем поры: $\rho_ш = 2$; $\rho_н = 8$ [4].

4. Показатели качества сварки и числовой пример [8]

Альтернативные показатели: число или доля дефектных (бракованных) элементов		
1. Средняя доля брака $Б = \frac{n_Б}{n}$	$\bar{n}_Б = 59$ стыков с недопустимыми дефектами;	$\bar{Б} = \frac{59}{717} = 8{,}2\%$
2. Средняя доля элементов с несплошностями $q = \frac{n_Д}{n}$	$\bar{n}_Д = 210$ стыков с любыми дефектами;	$\bar{q} = \frac{210}{717} = 29\%$
Количественные показатели: дефектность в контролируемых элементах (стыках)		
3. Среднее число дефектов на стык $m_Д$, $m_Б$	По общему числу дефектов $\bar{m}_Д = \frac{997}{717} \approx 1{,}35$ шт.	По недопустимым дефектам $\bar{m}_Б = \frac{201}{717} \approx 0{,}28$ шт.
4. Средняя протяженность дефектов на стык $l_Д$, $l_Б$	на стык, $\bar{l}_Д = \frac{4371}{717} \approx 6{,}1$ мм на стык,	на стык, $\bar{l}_Б = \frac{1281}{717} \approx 1{,}8$ мм на стык,
5. Структура дефектности в стыках. Средние количества $\bar{m}$ и длины $\bar{l}$ записаны в последовательности поры — шлаки—непровары	$m\left(\frac{Д}{Б}\right) = \frac{0{,}8 + 0{,}5 + 0{,}05}{0{,}2 + 0{,}06 + 0{,}02} = \frac{1{,}35}{0{,}28} \approx 5{,}0$	
	$l\frac{Д}{Б} = \frac{1{,}0 + 1{,}3 + 2{,}0}{0{,}4 + 0{,}22 + 0{,}7} = \frac{4{,}3}{1{,}32} \approx 3{,}3$	
6. Эквивалентная дефектность $g_э = \sum g_i\rho_i$, где $g_i = \frac{S_i}{S_р}$ — дефектность по данному виду дефектов *	$\bar{g}_{э.Д} = \frac{(0{,}8\cdot1) + (0{,}5\cdot1)\,2 + (0{,}05\cdot2)\,8}{S_р} \approx$	
	$\approx \frac{2{,}6}{1000} = 0{,}26\%$;	
	$\bar{g}_{э.Б} = \frac{(0{,}2\cdot0{,}4) + (0{,}06\cdot0{,}2)\,2 + (0{,}28\cdot1{,}3)\,8}{1000} =$	
	$= 0{,}13\%$; $\frac{\bar{g}_{э.Д}}{\bar{g}_{э.Б}} \approx 2$	

Примечание. Для труб диаметром 80 мм и толщиной стенок ~4 мм принято расчетное сечение $S_р \approx 1000$ мм². Пример дан для радиационного контроля по сумме выборок $\sum n = 717$ стыков из базовой совокупности $\sum N \approx 21\,000$ стыков технологических трубопроводов диаметром 57—108 мм. Сварка ручная дуговая. В стыках обнаружено 997 дефектов, из которых 201 недопустимые. Остальные характеристики дефектности ясны из примера.

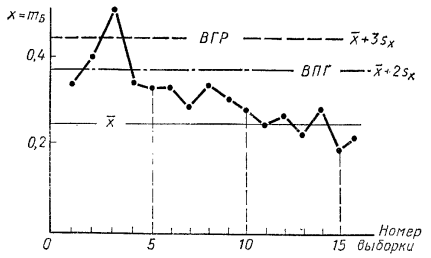


Рис. 1. Пример контрольной карты для регулирования числа $\bar{x} = m_Б$ недопустимых дефектов, приходящихся на один сварной стык; $\bar{x}$ — среднее значение

В общем случае применимы все указанные в табл. 4 показатели, причем показатель $\bar{m}$ более эффективен для средних толщин и стыков среднего сечения ($S_р \leqq 1000$ мм²), где преобладают обычно компактные дефекты. Показатель l эффективен для швов, в которых преобладают протяженные дефекты (длинные швы, большие толщины).

Выбранные по табл. 4 и рассчитанные для разных условий производства показатели качества сварки сравнивают между собой и делают выводы о причинах дефектов, уровнях технологии и путях улучшения качества. Сравнивать показатели удобно, пользуясь диаграммами [4—6, 8, 10]

Статистическое регулирование процесса основано на том, что высокое качество может быть обеспечено только совершенной технологией. Как бы ни был хорош контроль, но он качества не создает. В то же время именно по результатам контроля следует корректировать и улучшать технологию. Для этого служат *контрольные карты*, в которых могут быть использованы оба показателя x: альтернативные ($Б$ или q) и количественные ($x = m$ или $x = l$, g и т. п.).

В качестве примера на рис. 1 показана диаграмма для оценки по альтернативному признаку среднего (относительного) числа недопустимых дефектов $x = m_Б$, приходящихся на один стык. От выборки к выборке число $m_Б$ меняется. Причем отмеченный в выборках № 2 и 3 выход значений регулируемого показателя x за верхнюю границу регулирования *ВГР* или верхнюю предупредительную границу *ВПГ* служит сигналом о нарушениях технологии. Принятые в следующие

5. Пример заполнения первичной формы учета качества сварки

Исходные данные

Заказ № 1460 Дата сварки 20.1.78—24.1.78 Дата контроля 28.1.78	1. Соединение — стыковое 2. Способ сварки — автоматическая под флюсом 3. Материал — сталь 09Г2 4. Толщина — 20 мм 5. Электроды — нет 6. Проволока — Св-08Г2 7. Флюс — ОСЦ-45 8. Условия сварки — цеховые	9. Категория соединений — 2 10. Узел (секция) — бортовой № 4—2 11. Способ контроля — гамма-графирование 12. Объем контроля — 10% 13. Число участков контроля — 40 14. Сварщик — Иванов Б. С.	Форма КУ-1 Примечание. 1. Аппарат РИД-21

Продолжение табл. 5.

Результаты радиографического контроля участков сварных швов

№ контрольного участка	Чувствительность контроля, %	Дефекты сварки: Вид	Группа	Число	Размер, мм	Протяженность, мм	Балл качества (по трехбальной системе)	Примечание
1	2,0	П	А	4	1,0	—	3	—
1	1,0	П	А	2	1,5	—	2	—
2	1,0	Ш	А	2	3,0	—	2	—
3	2,0	Н	—	1	—	80	1	Брак
3	2,0	П	А	2	1,0	—	3	—
4	1,0	П	Б	2	1,0	20	2	—
5	1,0	П	А	5	2,0	—	2	—
...	...	...	...	...	...	...	...	...

Примечание. П — поры; Ш — шлаки; Н — непровары; А — одиночные; округлые дефекты; Б — протяженные дефекты.

6. Пример заполнения формы КСР-1 учета качества сварочных работ в отрасли

Предприятие — машиностроительный завод
Вид конструкции — листовая
Соединения — стыковые четырех видов
Сварка — автоматическая под флюсом

Качество сварочных работ. Анализ качества по способам сварки или видам соединений

№ п/п	Показатели		Всего	Виды соединений: 1	2	3	4
1	Сварено элементов N, тыс. шт.		38,19	5,44	5,2	4,25	23,6
2	Проконтролировано n, тыс. шт.		8,51	5,44	1,04	0,85	1,18
3	Доля контроля $\frac{n}{N}$, %		22,1	100	20	20	5
4	Дефектных $m_д$, шт.	Всего	724	190	103	195	236
		С недопустимыми дефектами	324	117	55	46	106
		С допустимыми дефектами	400	73	48	149	130
5	Исправлено $m_и$, шт.		324	117	55	46	106
6	Доля дефектных элементов $q = \frac{m_д}{n}$, %		8,5	3,5	9,9	23,0	20,0
7	Доля исправленных элементов $Б = \frac{m_и}{n}$, %		4,05	2,16	5,3	5,4	9,0

периоды меры позволили стабилизировать качество вблизи среднего значения дефектности. Положение средней линии $\bar{x}$ и границ регулирования определяют, анализируя историю качества и распределение $f(x)$ либо числовые характеристики величины x, за достаточно длительный период.

Задача статистического регулирования — контроль и повышение стабильности процесса. Чем уже интервал от среднего $\bar{x}$ до верхней границы, тем выше требования к стабильности процесса. Показателем стабильности может служить дисперсия D, квадратичное отклонение σ, s, коэффициент вариации v или размах ω. Чем выше стабильность процесса, тем меньше эмпирические (выборочные) значения D^*, s, v или ω.

Наиболее распространено и наглядно назначение границ регулирования в числах сигма — среднеквадратичных отклонений. Например, *ВГР* соответствует трем, а *ВПГ* — двум сигмам. Если распределение показателя качества x может быть описано нормальным распределением, то трехсигмовой границе $z_\gamma = 3$, например, соответствует вероятность $\Phi(x) = 0{,}49865$, а $\gamma = 2\Phi = 99{,}73\%$ и $\alpha = 0{,}27\%$ (см. табл. 2.) Часто используют уровень значимости $\alpha = 5\%$ ($\gamma = 2\Phi = 0{,}95$), что соответствует для границы регулирования квантило $x = z_\gamma = 1{,}96$ и т. п.

Наиболее эффективно статистическое регулирование на потоке. Однако в мелкосерийном производстве и даже при монтаже применение статистического регулирования также возможно путем объединения мелких партий одинаковой продукции в базовые партии по признаку единообразной технологической документации, как это сделано в примере, приведенном в табл. 4. Регулирование по альтернативному признаку проще, но требует при заданной достоверности большего числа измерений, чем для оценки по количественному признаку.

7. Пример заполнения формы КСР-2 учета качества сварочных работ в отрасли

Подразделение — сборочно-сварочный цех № 7
Элемент — участок шва длиной $\Delta L = 300$ мм
Материал — низколегированные стали
Методы контроля — радиография (P_Γ) и ультразвук (УЗд)
Сварено элементов: партия $N_\Sigma \approx 17{,}0$ тыс. шт.

Качество сварочных работ. Анализ качества по методам контроля

№ п/п	Число элементов		Всего	Метод контроля	
				P_Γ	УЗд
1	Проконтролировано n, тыс шт		0,85	0,34	0,51
2	Дефектных $m_д$, шт.	Всего	195	72	123
		С недопустимыми дефектами	46	17	29
		С допустимыми дефектами	149	55	94
3	Доля контроля $\eta = \frac{n}{N}$, %		20	8	12
4	Исправлено $m_и$, шт.		46	17	29
5	Доля дефектных элементов $q = \frac{m_д}{n}$, %		23,0	21,2	24,2
6	Доля исправленных элементов $Б = \frac{m_и}{n}$, %		5,4	5,1	5,7

Нижнюю границу регулирования часто не используют, однако иногда слишком малая дефектность может служить сигналом о неполадках в системе контроля, т. е. о недостоверном контроле.

При статистическом регулировании технологии следует учитывать ГОСТ 15893—77, ГОСТ 16467—70, ГОСТ 20737—75 и др.

Выше изложена только математическая модель регулирования качества. Она заключается в оценке вероятностей нахождения регулируемого параметра в подконтрольном состоянии. Для обеспечения статистического регулирования необходим также комплекс организационных мероприятий, включающих оперативное выяснение причин брака и их ликвидацию. Для этой цели требуется специальная документация — карты учета, позволяющие учитывать, анализировать и регулировать качество. Примеры первичной формы КУ-1 и годовых форм учета КСР-1 и КСР-2 даны в табл. 5—7.

ВЕРОЯТНОСТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПЛАНОВ (ОБЪЕМОВ) ВЫБОРОЧНОГО КОНТРОЛЯ

Существующий порядок. Во многих принятых на производстве правилах контроля ПК его объемы n установлены в процентах к объему N сварки: $\eta = \frac{n}{N}\%$. Причем нормы на долю контроля зависят обычно от категории ответственности сварного шва и составляют 1, 2, 5, 10, 20%. Значения η, как правило, не связаны ни с объемом N, ни с качеством сварки ($Б$, q, g_9 и др.). Возможные риски (ошибки) контроля обычно не оговорены, а отбор единиц продукции (стыков) часто бывает не случайным, а преднамеренным. Все перечисленное не отвечает математическим основам выборочного контроля, согласно которым контролируемый параметр $M(X)$ следует оценивать по выборочному среднему $\bar{x}$ с определенной заданной точностью и доверительной вероятностью (надежностью).

При оценке по количественному признаку обычно исходят из соотношения $D_{\bar{x}} = \frac{D}{n}$ между дисперсией среднего арифметического $D_{\bar{x}}$ и генеральной дисперсией D. Задаваясь точностью δ измерений как предельным значением дисперсии $D_{\bar{x}}$ получают требуемый объем выборки

$$n = \frac{D}{D_{\bar{x}}} = \frac{\sigma^2}{\delta^2}. \qquad (13)$$

Если распределение количественного признака X нормальное, то математическое ожидание $M(X)$ можно оценить с наперед заданной точностью δ и доверительной вероятностью γ согласно формулам (9)—(11).

При известном σ

$$n = z_\gamma^2 \frac{\sigma^2}{\delta^2}; \qquad (14)$$

при неизвестном σ

$$n = t_\gamma^2 \frac{s^2}{\delta^2}. \qquad (15)$$

Значения квантилей z_γ нормального распределения или t_γ распределения Стьюдента находят по таблицам [1—3, 7] и табл. 2 и 3.

Если выборка n_0, по которой оценивают генеральную дисперсию σ^2 путем расчета выборочной исправленной дисперсии s^2, достаточно велика ($n_0 > 30$), то при неизвестном σ можно вести расчеты по квантилю z_γ. При малых выборках ($n_0 < 30$) замена t_γ на z_γ приводит к существенному занижению точности. Например, если $\gamma = 0{,}99$, то по таблицам функции Лапласа $z_\gamma = 2{,}58$, а по таблицам распределения Стьюдента при $n_0 = 5$ $t_\gamma = 4{,}6$.

Пример. Определим требуемое число испытаний для оценки статической прочности x сварных стыков из перлитной стали. Из справочника [4] находим $\sigma \approx 4$ кгс/мм². Задаваясь требуемой точностью $\delta = 2$ кгс/мм² и $\gamma = 0{,}68$ получаем $z_\gamma = 1$ и далее

$$n = \frac{\sigma^2}{\delta^2} = \frac{4^2}{2^2} = 4 \text{ образца}.$$

Увеличив требуемую надежность до $\gamma = 0{,}95$ получим $z_\gamma = 2$ и

$$n = z_\gamma^2 \frac{\sigma^2}{\delta^2} = 4 \cdot 4 = 16 \text{ образцов}.$$

При оценке вибрационной прочности имеем большее рассеяние в генеральной совокупности [4] $\sigma = 8$. Задаваясь точностью $\delta = 2$ и $\gamma = 0{,}68$ находим

$$n = \frac{\sigma^2}{\delta^2} = \frac{8^2}{2^2} = \frac{64}{4} = 16 \text{ образцов}.$$

Анализ формул (13)—(15) и примеров показывает, что требуемое число образцов n тем больше, чем меньше стабильность (больше дисперсия σ^2) в генеральной совокупности, больше требуемая надежность γ и выше требуемая точность оценки (меньше δ).

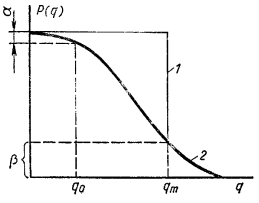


Рис. 2. Оперативная характеристика идеального (сплошного) (*1*) и одноступенчатого выборочного (*2*) контроля по альтернативному признаку

Для оценок по альтернативному признаку простых формул, подобных выражениям (14), (15), нет. Основным показателем качества партии служит доля q дефектных единиц в ней. При планировании одноступенчатого контроля оговаривают два уровня входного качества: приемочный (ПРУК) q_0 и браковочный (БРУК) q_m, причем $q_0 < q_m$. Возможные ошибки контроля оценивают риском потребителя β и риском поставщика α.

Из представленных партий объемом N извлекают случайные выборки объемом n. По результатам контроля два решения: либо всю партию N бракуют, если действительное число дефектных единиц d в выборке n окажется больше заданного приемочного числа C ($d > C$); либо эту партию принимают, если $d < C$. Таким образом, объем выборки зависит от многих переменных:

$$n = n\,(q_0 q_m N C \alpha \beta). \tag{16}$$

Эффективность плана контроля определяют *оперативными характеристиками* (рис. 2), которые представляют собой зависимость между вероятностью приемки партии продукции $P\,(q)$ и долей дефектных единиц q при заданном плане контроля (N, n, α, β):

$$P(q) = \text{Вер}\,(d < C) = \sum_{d=0}^{C} P(d, n).$$

В общем случае $P\,(d, n)$ — гипергеометрическое распределение: при $\frac{n}{N} \leqslant 0{,}1$ — биномиальное; при $q \leqslant 0{,}1$ — Пуассона; при $nq > 10$ и $q < 0{,}1$ — допустимо использовать нормальное распределение.

Согласно оперативной характеристике

$$\beta = P(q_m); \quad 1 - \alpha = P(q_0). \tag{17}$$

Обычно β и α принимают от 0,05 до 0,15. На выборочный контроль имеются стандарты. В ГОСТ 16493—70, ГОСТ 16490—70 установлены правила статистического приемочного контроля по альтернативному признаку.

8. Результаты испытаний на отрыв сварных точечных соединений

Интервал	Середина интервала	Усилие отрыва, кгс	Опытные частоты	Опытные частости ν_i	Плотность $f_p(x)$	Интегральная функция $P(x)$
0—1	0,5	2500—2000	16 642	0,65	0,63	0,57
1—2	1,5	1500—2000	7 464	0,29	0,21	0,19
2—3	2,5	1000—1500	1 311	0,05	0,07	0,06
3—4	3,5	500—1000	42	0,02	0,023	0,02
4—5	4,5	0—500	1	0,00006	0,008	0,007

Статистический приемочный контроль по количественному признаку регламентирован ГОСТ 20736—75. На основе названных ГОСТов должны быть созданы отраслевые методики и стандарты.

Достоверность выборочной оценки. Приведенные выше основные статистические модели выборочного контроля позволяют сформулировать понятие об условной его достоверности γ, как разности между единицей (вероятностью всех событий в группе) и ошибками контроля. Ошибки могут учитываться суммарно ($\alpha + \beta$) или по отдельности.

При учете обеих ошибок

$$\gamma_\Sigma \approx (1 - \alpha)(1 - \beta) = 1 - \alpha + \alpha\beta - \beta.$$

Поскольку в большинстве случаев α и β величины меньшие, чем 0,1, то можно пренебречь произведением $\alpha\beta$ из-за его малости. Окончательно получим

$$\gamma_\Sigma \approx 1 - (\alpha + \beta); \quad \gamma(\alpha) = 1 - \alpha; \quad \gamma(\beta) = 1 - \beta. \tag{18}$$

Пример. Стальные трубчатые изделия, содержащие по пять ребер с двумя сварными точками т. е. по 10 сварных точек испытывали на отрыв. Фиксировали усилия $W_{отр}$ отрыва каждого ребра, причем их наименьшее (браковочное) значение составляло $W_Б = 1000$ кгс.

Из сменной партии, составляющей 500 изделий, отбирали 2%, т. е. 10 изделий. Если хотя бы одно ребро отрывалось при усилии $W_{отр} < W_Б$, то всю партию (500 шт.) браковали. Был проведен статистический анализ качества 25,5 тыс. соединений в течение одного года. За единицу продукции принято соединение ребра с трубой (с двумя точками, работающими в одинаковых условиях). Тогда объем партии равен числу ребер за смену 500×5, т. е. $N = 2500$. Объем выборки $\eta = 2\%$, а $n = 50$. Приемочное число $C = 0$.

В зависимости от усилия отрыва все результаты были разбиты на пять интервалов (табл. 8).

Гистограмма частостей $\nu_i = \frac{n_i}{n_\Sigma}$ появления результатов $W_{отр}$ аппроксимирована по вероятностной сетке экспонентой $f_p(x) = 1{,}1 \exp(-1{,}1x)$; $P(x) = 1 - F(x) = e^{-1{,}1x}$.

Из таблицы и гистограммы следует, что интервалы 3—4 и 4—5 лежат ниже браковочной границы (1000 кгс). Тогда средний уровень входного качества по доле брака

$$\bar{q} = \frac{n_{3-4} + n_{4-5}}{n_\Sigma} = \frac{42 + 1}{25\,500} \approx 0{,}0017.$$

В соответствии с ГОСТ 20736—75 при значениях $\bar{q} = 0{,}165$—$0{,}279\%$ рекомендован приемочный уровень качества (ПРУК) $q_0 = 0{,}0025$. Браковочный уровень по согласованию с заказчиком установлен $q_m = 4q_0 = 0{,}0100$.

При низком уровне засоренности $q \leqslant 0{,}1$ и $n \leqslant 0{,}1N$ для распределения $P\,(d, n)$ случайного числа дефектных единиц в выборке n применим закон Пуассона (табл. 9).

9. Распределение Пуассона. Значения вероятностей $P(x = d) = \frac{a^d e^{-a}}{d!}$

d	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	2
0	0,905	0,819	0,741	0,670	0,607	0,549	0,497	0,449	0,407	0,368	0,135
1	0,090	0,164	0,222	0,268	0,303	0,329	0,348	0,359	0,366	0,368	0,271
2	0,005	0,016	0,033	0,054	0,076	0,099	0,122	0,144	0,165	0,184	0,271
3	0,000	0,001	0,033	0,007	0,013	0,020	0,028	0,038	0,049	0,061	0,180
4			0,000	0,001	0,002	0,003	0,005	0,008	0,011	0,015	0,090
5						0,000	0,001	0,001	0,002	0,003	0,036
6									0,000	0,001	0,012

Примечание. $a = nq$ — среднее значение и дисперсия; n — объем выборки; q — засоренность партии; d — число повторений; $P(x = d)$ — вероятность того, что в выборке объемом n элементов из генеральной совокупности с параметром a будет не более d дефектных элементов

Поскольку дефектные единицы в выборке не допускаются, то приемочное число $C = 0$. Тогда вероятность приемки партии

$$P(q) = \text{Вер}\,(d \leqslant C) = \text{Вер}\,(d=0) = e^{-nq}.$$

Зная закон оперативной характеристики и значение $n = 50$, строим эту оперативную характеристику, пользуясь таблицей экспоненциального распределения, соответствующего первой строке $d = 0$ в табл. 9 распределения Пуассона. Далее по формулам (17), пользуясь графиком OX, определяем риски α и β:

$$\alpha = 1 - P(q_0) = 1 - 0{,}85 = 0{,}15; \quad \beta = P(q_m) = 0{,}60.$$

Условную достоверность у выборочного контроля получаем как разность между единицей и суммой рисков:

$$\gamma_\Sigma = 1 - (0{,}15 + 0{,}60) = 0{,}25 = 25\%$$

В данном примере достоверность γ_Σ весьма низкая.

ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ КОНТРОЛЯ

Важным показателем эффективности контроля должна служить его достоверность. Для сопоставления разных методов контроля целесообразно выделить априори *исходный* метод. Он должен либо давать наибольшую, полезную информацию о характерном показателе качества, либо (по сравнению с другими методами) быть наиболее экономичным, причем без существенной потери информации.

Исходный метод, который дает прямую информацию о качестве, условимся называть *эталонным* или образцовым. Например, для оценки дефектности наилучшим эталонным методом служит вскрытие несплошностей, а для оценки статической прочности — механические испытания на разрыв.

Количественно сравнительную достоверность $Д$ контроля следует рассчитывать как *вероятность принятия безошибочных решений* при оценке качества объекта или партии изделий ($Д_N$). Принимая всю сумму результатов измерения качества за полную группу событий (100%), ошибками контроля будем считать величину $\Delta Д = 1 - Д = \varkappa$.

Оценка достоверности может быть точечной или интервальной, аналогично доверительной вероятности.

Точечная оценка достоверности. При контроле по *альтернативному признаку*, например, для оценки сравнительной достоверности двух методов, исходя

10. Матрица оценки сравнительной достоверности методов контроля по числу проверенных изделий (альтернативный признак)

Методы контроля и оценка его результатов для n_Σ образцов $n_\Sigma = n_г + n_н + n_\alpha + n_\beta$		*Исходный (эталонный) метод...*	
		Число эталонно-годных $n_{э.г} = n_г + n_\alpha$	Число эталонно-негодных $n_{э.н} = n_н + n_\beta$
Пробный метод	Число годных	$n_г$ дважды годные	n_β-недобраковка
	Число негодных	n_α-перебраковка	$n_н$ дважды негодные

11. Пример заполнения и расчета матрицы достоверности. Сварные соединения стержень—пластина. Норма допустимости дефектов (включений) $\Delta S = 20$ мм²

Исходные данные				Расчет достоверности
$n_\Sigma = 200$ стыков		*Эталонный метод:* вскрытие		$Д_\Sigma = \frac{n_г + n_н}{n_\Sigma} = 0{,}90$
		Годен $n_{э.г} = 165$	Не годен $n_{э.н} = 35$	
Пробный метод: УЗ-контроль	Годен	$n_г = 150$	$n_\beta = 5$	$Д_г = \frac{n_г}{n_г + n_\beta} = 0{,}97$
	Не годен	$n_\alpha = 15$	$n_н = 30$	$Д_н = \frac{n_н}{n_н + n_\alpha} = 0{,}66$

из числа дефектных изделий, целесообразно использовать матрицу достоверности (табл. 10), предложенную в работах [5, 6, 10].

Возможны четыре варианта сочетаний решений: два совпадающих $n_г$ и $n_н$ и два несовпадающих n_α и n_β. По смыслу они соответствуют принятым в математической статистике терминам. Ошибка 1-го рода или риск поставщика — α-перебраковка. Ошибка 2-го рода или риск потребителя — β- недобраковка.

Пользуясь матрицей (табл. 11), можно рассчитать показатели достоверности по формулам, в которых числителем является число совпадающих результатов, а знаменателем — общее число испытаний.

Показатель $Д_\Sigma$ ($Д_{n\Sigma}$) вычисляют, относя результаты к сумме n_Σ всех дефектных элементов: годных и негодных. Такой показатель более ценен для осуществления предупредительных функций контроля. Он нейтрален при защите интересов как поставщика, так и потребителя. Показатель $Д_н$ удобен для приемочного контроля, поскольку он показывает достоверность оценки элементов только по отношению к элементам с недопустимыми дефектами ($n_н + n_\alpha$).

Показатель $Д_г$ важно знать в случае преимущественной оценки интересов потребителя. Показатель $Д_г$ защищает лучше интересы поставщика.

Если при контроле по *количественному признаку* критерием оценки результатов контроля служит не число дефектных элементов (стыков), а дефектность каждого контролируемого элемента, то в расчетной модели оценки достоверности следует учитывать так называемую оперативную характеристику $L(x)$ контроля или ее обратную величину — функцию выявляемости $W(x) = 1 - L(x)$.

Функцией $W(x)$ будем называть кривую, показывающую степень выявления данным методом (и средствами) контроля дефектов заданных размеров x (рис. 3, *а*). В частном случае кривая $W(x) = F_B(x)$ может быть найдена как интегральная функция для кривой ошибок, являющейся плотностью нормального распределения $f_B(x)$. Кривая ошибок $f_B(x)$ соответствует плотности условного распределения $f(y/x)$, для данного конкретного значения $x = x_i$, которое может быть определено по уравнению регрессии $y = a + bx$, отражающей линейную корреляционную связь между сигналами от дефектов Y и их реальными значениями X.

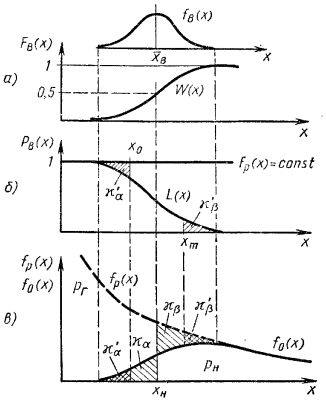


Рис. 3. Вероятностные модели оценки достоверности при количественных результатах контроля по величине дефектности x в контролируемых элементах:

а — дифференциальная $f_B(x)$ и интегральная $F_B(x)$ кривые выявляемости дефектов; *б* — оперативная характеристика метода контроля $L(x)$ в поле равномерного распределения реальных дефектов $f_p(x) = \text{const}$; x_m, x_0 — браковочный и приемочный уровни; *в* — плотности распределения реальных $f_p(x) = \lambda e^{-\lambda x}$ и обнаруженных $f_0(x)$ дефектов; $\varkappa_\alpha$, $\varkappa_\beta$ — вероятности перебраковки и недобраковки при точечной, а $\varkappa'_\alpha$ и $\varkappa'_\beta$ — при интервальной оценке достоверности; $p_г$, $p_н$ — вероятности правильной оценки допустимых ($p_г$) и недопустимых ($p_н$) значений дефектности

Функцию $f_B(x)$ и $F_B(x)$ определяют экспериментально [4 и 10], причем в отдельных случаях зависимость $W(x)$ может не соответствовать нормальному распределению или может быть чисто эмпирической характеристикой обнаружения дефектов [5].

Оперативная характеристика (рис. 3, *б*) по смыслу обратна функции выявляемости $F_B(x)$. Действительно, $F_B(x)$ тем больше, чем больше выявлено дефектов, а при всех выявленных дефектах $F_B(x) = 1$. Если все недопустимые дефекты выявлены, то вероятность приемки этих изделий $L(x) = 0$.

Формулы для расчета достоверности контроля при оценке качества по измеримому признаку имеют вид

$$Д_\Sigma = 1 - (\varkappa_\alpha + \varkappa_\beta);\ Д_г = \frac{p_г}{p_г + \varkappa_\beta};\ Д_н = \frac{p_н}{p_н + \varkappa_\alpha}.$$

Расчет ведут обычно графически, поскольку аналитическое решение затруднено. Значения вероятностей правильной оценки ($p_г$, $p_н$) и ошибок $\varkappa_\alpha$, $\varkappa_\beta$ измеряются (в масштабе) по опытным графикам, подобным рис. 3, *в*.

При наличии одного фиксированного значения $x_н$ — нормы допустимости дефектов — возможна только точечная оценка достоверности контроля. Например, если $x_н = \bar{x}$, то ошибки контроля равны между собой ($\alpha = \beta$). При $x_н > \bar{x}$ имеем $\beta < \alpha$. Если $x_н < \bar{x}$, то, наоборот, $\beta > \alpha$.

Интервальная оценка достоверности. При оценке достоверности по количественному признаку определяют, какова вероятность пропуска $\varkappa_\beta$ или вероятность

ложного обнаружения $\varkappa_\alpha$ дефектов, отличающихся от нормативного размера на величину $x_н \pm \xi$. При этом оценка достоверности должна быть не точечной $x = x_н$, а интервальной $x_0 < x_н < x_m$.

Для наглядности представления ошибок контроля и возможности их графической оценки оперативная характеристика (рис. 3, *б*) совмещена с полем равномерного распределения реальных дефектов $f_p(x) = \text{const}$ или с полем экспоненциального распределения (рис. 3, *в*). Тогда заштрихованные площади правее x_m и левее x_0 отражают ошибки контроля $\varkappa'_\beta$ и $\varkappa'_\alpha$.

Ошибки контроля при интервальной оценке гораздо меньше, чем при точечной. Таким образом, и интервальной форме назначения норм $x_0 < x_н < x_m$ можно существенно повысить достоверность оценки качества соединений. Для введения этой методики необходимо вероятностное обоснование значений x_m и x_0, что возможно на базе вероятностной модели, описанной ниже.

Физическая структура достоверности. *Структура достоверности* $Д$ контроля и ее значения зависят от конкретных физических средств и методов контроля, В общем случае достоверность, вычисленная по любой расчетной модели ($Д_\Sigma$, $Д_г$ или $Д_н$), является произведением по крайней мере двух составляющих: методической $Д_м$, зависящей от объекта контроля, и инструментальной $Д_и$. Инструментальная составляющая в свою очередь состоит из двух независимых частей. Одна из них определяется степенью точности контроля $Д_т$ (погрешностями измерений), а вторая — надежностью работы аппаратуры (системы) контроля $Д_а$.

Кроме того, причиной ошибок может быть изменение параметров аппаратуры во времени, что учитывает сомножитель $Д_в$. В приборах с изотопным источником $Д_в$ изменяется, например, со временем по экспоненте согласно кривой распада изотопов.

Таким образом, типовая структура достоверности имеет вид

$$Д = Д_м Д_и Д_в = Д_м (Д_т Д_а)_в.$$

Конкретные расчеты всех четырех составляющих достоверности и выяснение причин отдельных погрешностей составляют задачи, связанные со знанием условий контроля и здесь не описываются. *Полная достоверность* $Д_п$ комплексной оценки качества будет произведением выборочной достоверности γ и достоверности $Д$ метода контроля:

$$Д_П = \gamma Д.$$

Например, для $\gamma = 0{,}8$ (при $\alpha = \beta = 0{,}1$) и $Д_\Sigma = 0{,}9$ имеем $Д_П = 0{,}8 \cdot 0{,}9 = 0{,}72$.

ВЕРОЯТНОСТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ НОРМ ДОПУСТИМОСТИ ДЕФЕКТОВ

Анализ существующих норм показал, что в разных странах и отраслях промышленности на разных предприятиях нормы допустимости дефектов в однотипных изделиях существенно не одинаковы, причем обычно их устанавливают эмпирически. Если критерием засоренности швов принять $g_э = \frac{S}{S_р}$, то эта величина различается примерно от 0,02 до 2% (для сосудов и корпусных конструкций).

Модель расчета. В вероятностной схеме рассматривают пять аспектов комплексного подхода к назначению норм: эксплуатационный, технологический, дефектоскопический, квалиметрический и экономический.

В основу определения норм допустимых дефектов целесообразно положить две одновременно используемые расчетные модели: технологическую и эксплуатационную. Соответственно этим моделям рассмотрим две вероятностные характеристики дефектов, полученные опытным путем:

$$\varphi_{рн} = \text{Вер}\,[X > x_н];\ \Delta\varphi_н = \text{Вер}\,[W < \omega_н],$$

где $\varphi_{рн} = p_н$ — нормативная вероятность появления из общего числа дефектов (или дефектных участков) дефектов с размерами X, большими некоторого норма-

тивного размера $x_н$ (рис. 4, *а*); $\Delta\varphi_п$ — нормативная вероятность потери работоспособности W соединением ниже некоторого нормативного уровня $w_н$ из-за наличия дефектов размером x (рис. 4, *б*).

Условия расчета норм по каждой модели имеют вид: 1) технологическая модель $\varphi_р < \varphi_{рн}$; 2) эксплуатационная модель $\Delta\varphi < \Delta\varphi_н$.

Обе модели применяют в диалектическом единстве, что позволяет ввести коэффициенты запаса действующих норм относительно их пороговых значений $x_п$. Значение $x_п$ соответствует 50%-ной вероятности влияния дефектов на работоспособность соединений. Его определяют на основе регрессионного анализа связи

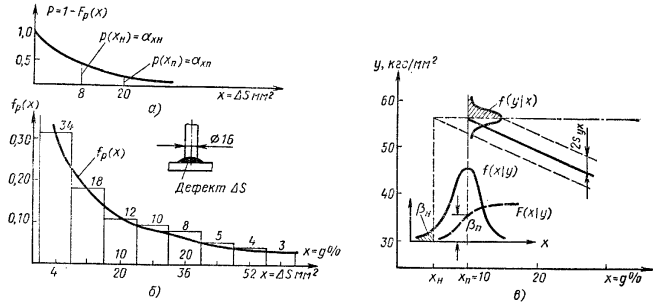


Рис. 4. Вероятностные схемы расчета норм допустимости дефектов на примере сварного соединения «стержень—пластина»:

а — интегральная; *б* — дифференциальная — кривые распределения дефектов; *в* — регрессия зависимости прочности соединения от дефектности стыка

«работоспособность — дефектность» ($W - X$) как точку пересечения нормативного уровня $w_н$ с линией регрессии. Коэффициенты запаса норм вычисляют по формулам:

запас по размеру дефектов

$$\eta_x = \frac{x_п}{x_н};$$

запас по вероятности влияния дефектов

$$\eta_{вер} = \frac{\Delta\varphi_п}{\Delta\varphi_н}.$$

Если нормативные значения значительно меньше порогового ($x_н \ll x_п$), то значения η_x и в особенности $\eta_{вер}$ велики, что соответствует *технологическим* нормам. Вырубка дефектов в данном случае, т. е. при выборочном контроле, нерациональна [10]; более рационально статистическое регулирование.

Шкалы дефектности сварных соединений. В промышленности находят применение 2, 3, 5, 7 и 10-балльные шкалы дефектности сварных соединений. Для приемочного контроля наиболее рациональны двух- и трехбалльные шкалы, а для статистического регулирования — многобалльные системы [4]. Модельным показателем при построении шкал может служить эквивалентная дефектность $g_э$, а браковочными показателями — число, размеры и вид дефектов. Примером реализации шкал дефектности могут служить стандарты стран СЭВ [*TGL* 10646 (ГДР и др.), ГОСТ 23055—78, *JISz* 3104 (Япония) и др.].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Айвазян С. А.** Статистическое исследование зависимостей. М., Металлургия, 1968. 228 с.
2. **Вентцель Е. С.** Теория вероятностей. М., Наука, 1969. 576 с.
3. **Вероятностные** характеристики прочности авиационных материалов/А. А. Кузнецов, О. М. Алифанов, В. Е. Ветров и др. М., Машиностроение, 1970. 562 с.
4. **Волченко В. Н.** Оценка и контроль качества сварных соединений с применением статистических методов. М., Стандарты, 1974. 160 с.
5. **Волченко В. Н.** Вероятность и достоверность оценки качества. М., Металлургия, 1978. 80 с.
6. **Волченко В. Н.** Статистические методы управления качеством по результатам неразрушающего контроля изделий. М., Машиностроение, 1976. 64 с.
7. **Гмурман В. Е.** Теория вероятностей и математическая статистика. М., Высшая школа, 1977. 480 с.
8. **Денисов Л. С., Волченко В. Н.** Предупредительный контроль качества сварочных работ. — Монтажные и специальные работы в строительстве, 1975, № 1, с. 34—37.
9. **Коуден Д.** Статистические методы контроля. Пер. с англ. М., Физматгиз, 1961. 624 с.
10. **Контроль** качества сварки. Учебное пособие для втузов/Под ред. В. Н. Волченко М., Машиностроение, 1975. 328 с.
11. **Хенсен В.** Контроль качества. Пер. с англ. М., Прогресс, 1968. 520 с.
12. **Шиндовский Э. и Шарц С.** Статистические методы контроля производства. М., Стандарты, 1969. 544 с.
13. **Шторм Р.** Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества. Пер. с нем. М., Мир, 1970. 380 с.

Глава 19

ГОСУДАРСТВЕННЫЕ СТАНДАРТЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В СВАРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

В главу включены наиболее часто применяемые общесоюзные стандарты, используемые в сварочном производстве, действующие на 1 мая 1979 г. Исключение представляют стандарты СЭВ в связи с имеющимся специальным указателем стандартов СЭВ и рекомендаций СЭВ по стандартизации. Кроме того, учитывая наличие сборника «Технологические испытания металлов» в главу включены только некоторые, наиболее часто используемые стандарты по испытаниям материалов, единой системе технологической документации и общему контролю.

Материал главы расположен в соответствии с ГОСТ 19521—74, устанавливающим классификацию сварки металлов по основным физическим признакам.

В табл. 1 приведены ГОСТы по возрастающим номерам, а также номер по порядку, определяющий место ГОСТа в предметном списке стандартов (см. табл. 2). При составлении табл. 1 учитывались только порядковые номера стандартов; цифры, стоящие впереди и отделенные точкой, не учитывались. Из них первая цифра, отделенная точкой, определяет межотраслевую систему, к которой относится стандарт (ЕСКД, ЕСТД и т. д.), а вторая цифра, стоящая за ней, также отделенная точкой, определяет подсистему. Одной звездочкой отмечены номера стандартов, к которым приняты изменения. Двумя звездочками отмечены номера стандартов, замененные в частях, тремя — ранее отмененные номера.

Табл. 2 представляет собой предметный список стандартов и является основной. В ней указаны порядковые номера, номера и наименования стандартов. Все стандарты разделены на четыре группы. В первой группе объединены стандарты всех видов сварки, наплавки, пайки и термической резки. Она подразделяется на пять подгрупп: первая — общие положения; вторая — основной материал; третья — сварочное оборудование, аппаратура, средства безопасности труда, емкости для сжиженных газов, оснастка; четвертая — сварные конструкции и их элементы — краны, вагоны, трубы, емкости, прочие конструкции и их элементы; пятая — контроль качества сварных и паяных соединений, исходных материалов и сварных конструкций, общие положения, методы и средства контроля.

Во второй группе объединены стандарты термического класса сварки и резки: виды сварки, осуществляемые плавлением с использованием тепловой энергии — сварка плавлением, наплавка, пайка и термическая резка. Она подразделяется на четыре подгруппы: первая — общие положения; вторая — сварочные материалы — сварочная проволока, прутки, металлы, припои, электроды, флюсы, рудные материалы, органика, силикаты, ферросплавы, реактивы, газы, разные материалы; третья — сварочные источники тока и оборудование постов, сварочные автоматы; четвертая — оборудование для газопламенной обработки и пайки.

В третьей группе представлены стандарты термомеханического класса сварки — виды сварки, осуществляемые с использованием тепловой энергии и давления. Она подразделяется на две подгруппы: первая — общие положения; вторая — сварочное оборудование.

В четвертой группе представлены стандарты механического класса сварки — виды сварки, осуществляемые с использованием механической энергии и давления.

В главе приняты сокращения:

ЕСКД — единая система конструкторской документации.

ЕСТД — единая система технологической документации.

1. Список государственных стандартов по возрастающим номерам

Номер ГОСТа	№ по пор. в табл. 2
12.4.001—73	136
12.3.003—75	31
12.4.003—74	137
12.2.007.0—75	32
12.2.007.8—75	33
12.2.008—75	688
12.4.023—76	139
4.27—71	378
4.28—71	380
12.4.035—78	140
5.70—68	689
5.71—68	676
9.073—77	36
83—79	563
95—69*	646
103—76*	71
107—74	280
8.122—74	351
123—78*	457
5.153—77Е	643
5.154—69	694
212—76	503
213—73*	504
215—73*	128
228—65*	318
297—73*	697
304—77Е	639
2.307—68*	22
2.308—79	23
2.309—73	25
2.310—68*	20
2.312—72	3
2.313—68*	4
2.314—68*	19
14.317—75	331
380—71*	37
5.382—70	644
5.384—75Е	533
2.410—68*	18
2.413—72	17
433—73*	114
434—78	116
443—76	610
450—77	577
5.457—70	603
481—71	111
492—73*	455
493—54**	466
495—77	95
503—71*	67
5.524—70	700
5.525—70	701
535—58*	49
577—68*	131
5.643—70	648
699—76	665
701—68	592
2.702—75	16
741.0—741.18—69	458
742—78	572
5.754—71	702
5.782—71	690
5.807—74	418
5.845—71	613
849—70*	454
855—74**	517
857—78	593
859—78	94
860—75	464
5.915—71	699
5.917—71	681
931—70	96
949—73*	679
5.952—71*	142
972—74	498
977—75*	105
1012—72*	609
1013—49*	624
5.1044—71	408
1045—73	623
1050—74*	38
1051—73*	42
1066—75	429
1071—67*	413
5.1074—71	436
1077—79	684
1078—71	669
5.1108—71	677
5.1149—71*	447
5.1163—71	444
5.1165—71*	445
5.1168—71*	478
1173—77	115
1215—59	107
5.1215—72	448
1255—67*	319
1268—67*	320
1343—76	205
1361—69*	138
5.1381—72	659
3.1402—74	30
3.1406—74	6
5.1407—72	310
5.1409—74	302
1412—70	106
3.1413—73	708
1415—78	523
3.1417—74	15
3.1419—74	5
3.1426—76	7
3.1427—77	9
1429.9—77	363
1435—74	43
5.1459—72*	58
1460—76	542
5.1465—72*	680
5.1491—72*	441
1497—73*	346
5.1498—72	686
1499—70*	479

Продолжение табл. 1

Номер ГОСТа	№ по пор. в табл. 2
3.1502—74	8
5.1527—72*	291
1535—71	446
1538—68*	322
5.1584—72	649
5.1619—72*	434
5.1620—72*	435
1638—72*	666
1713—72	575
5.1754—72*	61
5.1757—72	119
1761—70*	100
1763—68*	362
1778—70	361
5.1780—73	660
5.1781—73	661
5.1851—73*	130
5.1919—73	585
5.1925—73*	317
5.1929—73*	484
2060—73*	97
2112—71*	425
2149—75	574
2156—76	564
2169—69	499
2179—75	422
2184—77	594
2222—78Е	547
2246—70*	409
2283—69*	69
2319—70	315
2402—77	640
2405—72*	124
2567—73	595
2584—75	99
2590—71*	56
2601—74	2
2603—71*	614
2652—71*	558
2671—70	443
2685—75*	91
2715—75	308
2768—78	615
2789—73	24
2860—65**	349
2871—75	562
2912—79Е	555
2990—78	352
3022—70*	600
3134—78	611
3226—77	506
3242—69	330
3262—75*	279
3285—77	353
3340—71*	513
3584—73	118
3647—71	540
3765—78	550
3773—72	584
3882—74*	468
3956—76	588
4056—63*	628
4168—79	566
4173—77	553
4214—78	585
4221—76	545
4233—77	561
4328—77	568
4330—76	581
4415—75	488
4416—73**	491
4417—75	489
4418—75	505
4421—73	510
4422—73	495
4423—48	487
4437—48*	321
4470—79	580
4515—75	469
4526—75	571
4543—71*	41
4568—74*	556
4748—70*	101
4753—68*	617
4755—70	521
4756—77	544
4757—79	531
4759—69	529
4760—49*	534
4761—67*	525
4762—71	543
4780—72	583
4784—74*	92
4960—75	471
4986—70*	70
4997—75*	132
5005—65*	288
5044—71	295
5063—73	98
5100—73*	576
5105—76	301
5157—53**	50
5165—49*	522
5172—63	293
5190—67	657
5191—69*	671
5222—72*	430
5264—69	393
5279—74	511
5307—77	421
5457—75	607
5494—71	477
5520—79	46
5521—76	47
5539—73*	465
5583—68*	598
5614—74	674
5632—72**	60
5639—65	359
5640—68	356

Продолжение табл. 1

Номер ГОСТа	№ по пор. в табл. 2
5644—75	567
5744—74*	541
5774—76	622
5777—71*	557
5781—75	57
5855—78	551
5866—76	391
5871—51	326
5905—67*	456
5937—68	120
5948—60	678
5950—73*	44
5973—78	276
6008—75	453
6032—75	357
6034—74*	493
6053—77	565
6132—71*	420
6138—61*	501
6217—74	514
6247—72	297
6267—74	619
6268—68*	662
6331—78	599
6484—64	591
6521—72*	126
6613—73*	117
6616—74*	388
6651—78	389
6713—75*	45
6731—77Б	113
6757—73	625
6824—76	590
6836—72	463
6912—74**	507
6995—77	546
6996—66	344
7012—69*	647
7070—75	316
7075—72*	269
7122—75	354
7164—78	390
7167—77	578
7168—75	573
7205—77	579
7219—77*	692
7222—75	437
7237—77Б	641
7248—75*	377
7293—70	108
7345—78	582
7348—63*	415
7385—73	693
7438—73*	634
7512—75	339
7580—55	596
7618—70***	509
7699—68	492
7713—62*	28
7759—73	570
7855—74	386
7871—75	419
7890—73	270
8050—76	605
8213—75Е*	650
8233—56	360
8239—72*	51
8240—72	52
8275—57	81
8278—75*	74
8281—69*	75
8282—76	77
8283—77	78
8295—73	631
8399—57	103
8429—77	552
8478—66	309
8481—75	121
8505—57	608
8509—72	53
8510—72	54
8518—57	627
8536—68	304
8595—75	548
8625—77	125
8696—74*	281
8711—60*	122
8713—80	395
8732—78*	83
8734—75*	84
8766—73	658
8773—73*	620
8803—77	423
8856—72	407
8908—58*	27
9045—70*	40
9077—59	500
9087—69*	482
9234—74	79
9246—70	278
9293—74	601
9356—75*	667
9378—75	26
9389—75	411
9397—68*	134
9398—68*	133
9402—70	135
9433—60*	621
9454—78	347
9466—75	449
9467—75	450
9532—75	560
9721—74	472
9722—71*	473
9731—61	300
9810—69**	379
9833—73	636
9849—74*	470
9875—73	587
9931—69	292

Продолжение табл. 1

Номер ГОСТа	№ по пор. в табл. 2
9941—72*	86
9966—73	589
10007—72	110
10051—75	451
10052—75	452
10068—75	586
10157—73*	602
10192—62*	88
10196—62**	606
10243—75*	355
10262—73*	554
10274—72*	512
10297—75	549
10354—73	109
10356—63	21
10423—63	325
10527—70*	277
10543—75	410
10561—73	569
10594—74	642
10674—75	273
10678—76*	597
10704—76	282
10705—63*	283
10706—76	284
10707—73*	285
10720—75	673
10793—74	672
10834—76	629
10881—71	59
10885—75*	65
10922—75	350
10935—69	274
10936—75	275
10944—74*	467
10988—75	427
11068—64*	287
11069—74*	90
11249—73	290
11283—72*	271
11533—75	306
11534—75	394
11546—75	476
11680—76	637
11710—66	29
11810—66	519
11861—77	528
11964—66*	635
11966—78	691
11969—66	392
12004—66	345
12132—66*	289
12162—77	604
12169—66	303
12221—71	687
12336—66	82
12406—79	272
12492—67**	55
12503—75	335
12828—67*	323

Номер ГОСТа	№ по пор. в табл. 2
12830—67*	324
13032—77	630
13045—67*	656
13078—67*	520
13079—67	518
13091.2—13091.8—76	372
13151.1—13151.11—77	530
13216—74	387
13217.1—13217.11—67	535
13229—78	76
13230.0—13230.9—67	524
13333—75*	653
13498—68	104
13583.1—70—13583.11—75	508
13585—68	358
13646—68	129
13717—74*	127
13819—68	35
13821—77Е	645
13842—74*	424
13843—68	417
13861—68*	664
13950—76*	299
14019—68	348
14021.1—14021.8—78	539
14068—79	87
14085—68	414
14086—68	474
14098—68	312
14111—77	705
14249—73	10
14250.1—14250.9—69	526
14315—69	462
14316—74	460
14327—69*	515
14328.0—14328.5—77	516
14338.0—14338.4—74	459
14339.0—14339.5—74	461
14635—69*	80
14638.0—14638.15—69	537
14651—78	651
14771—76	398
14776—69	399
14782—76	334
14792—69	406
14806—69	402
14848—69	538
14935—77Е	675
14963—78	412
15106—69	706
15164—78	397
15527—70	428
15860—70*	294
15878—70	695
15907—70	618
15908—70*	298
16001—76	382
16002—76*	381
16003—76*	383
16004—70	385

Продолжение табл. 1

Номер ГОСТа	№ по пор. в табл. 2
16037—70	400
16038—70	403
16098—70	401
16130—72	426
16152—70*	670
16165—70*	707
16310—70	405
16361—70*	494
16504—70	329
16523—70*	39
16759—71,16761—71	375
16760—75	376
16773—71	527
16865—79	374
16883.0—71	480
16960—71*	626
16971—71	343
17102—71	328
17131—71	307
17293—71	536
17299—78	612
17325—71	12
17341—71	327
17349—71	11
17356—71	682
17357—71	683
17366—71*	296
17374—77,17380—77	85
17410—72	337
17450—72	703
17452—72	704
17498—72	490
17518—79	143
17791—72*	123
17826—72	259
17844—72	260
17845—72	267
17850—72	261
17854—72	262
17857—72	263
17858—72	264
17873—72	265
17874—72	266
17878—72	183
17880—72	181
17882—72	182
17883—72	184
17884—72	189
17886—72	190
17887—72	191
17888—72	200
17889—72	201
17890—72	202
17892—72	216
17893—72	217
17894—72	218
17895—72	193
17896—72	195
17897—72	227
17898—72	228

Номер ГОСТа	№ по пор. в табл. 2
17900—72	231
17901—72	232
17902—72	234
17903—72	235
17906—72	236
17907—72	237
17909—72	248
17910—72	251
17911—72	255
17913—72	256
17934—72	185
17935—72	159
17936—72	225
17938—72	186
17939—72	187
17942—72	188
17944—72	165
17945—72	166
17947—72	167
17949—72	168
17950—72	169
17953—72	170
17954—72	171
17955—72	172
17956—72	196
17957—72	197
17958—72	198
17960—72	199
17961—72	212
17962—72	213
17963—72	214
17964—72	192
17965—72	164
17967—72	178
17968—72	179
17969—72	180
17970—72	160
17971—72	161
17972—72	162
17973—72	163
17975—72	257
17976—72	258
17977—72	252
17978—72	253
17979—72	226
17980—72	151
17982—72	152
17983—72	254
17984—72	153
17985—72	154
17986—72	155
17987—72	243
17988—72	156
17990—72	157
17991—72	219
17992—72	220
17993—72	249
17994—72	250
17996—72	194
17998—72	233

Продолжение табл. 1

Номер ГОСТа	№ по пор. в табл. 2
17999—72	230
18000—72	238
18002—72	239
18003—72	150
18006—72	173
18008—72	240
18010—72	241
18012—72	174
18016—72	175
18018—72	176
18019—72	215
18021—72	244
18022—72	245
18023—72	246
18024—72	247
18028—72	203
18029—72	204
18030—72	205
18031—72	206
18032—72	207
18033—72	208
18034—72	209
18035—72	210
18036—72	211
18038—72	229
18039—72	223
18041—72	224
18042—72	158
18044—72	242
18045—72	221
18046—72	222
18047—72	177
18130—79Е	652
18143—72*	416
18205—72	663
18281—72	384
18353—73	332
18389—73	438
18390—73	439
18442—73	333
18492—73	632
18493—73*	633
18499—73*	616
18525—73*	496
18526—73	497
18599—73*	89
18636—73*	654
18698—73	668
18903—73	431
18905—73	432
19140—78	144
19141—78	145
19142—78	146
19143—78	147
19232—73	404

Номер ГОСТа	№ по пор. в табл. 2
19248—73	13
19249—73	14
19250—73	486
19281—73	48
19282—73	62
19292—73	314
19293—73	313
19351—74	440
19521—74	1
19662—74	141
19738—74	481
19739—74	102
19746—74	433
19771—74*	72
19772—74*	73
19790—74	559
19851—74	68
19903—74	63
19904—74	64
20024—74	306
20295—74*	286
20415—75	342
20426—75	341
20485—75	370
20486—75	369
20487—75	371
20549—75	696
20741—75*	638
21139—75	655
21327—75	148
21328—75	149
21397—75	338
21427.0—75	66
21448—75	475
21449—75	442
21547—76	367
21548—76	366
21549—76	368
21600.1—21600.16—76	532
21631—76	93
21639.0—21639.11—76	485
21694—76	112
21754—76	311
21876.1—21876.5—76	373
21910—76	34
22338—77	268
22368—77	336
22938—78	502
22974.0—22974.10—78	483
22990—78	698
23046—78	365
23047—78	364
23055—78	340

2. Предметный список стандартов

№ по пор.	Номер	Наименование
		Стандарты для всех видов сварки, пайки и термической резки
		Общие положения
1	19521—74	Сварка металлов. Классификация
2	2601—74	Сварка металлов. Основные понятия. Термины и определения
3	2.312—72	ЕСКД. Условные изображения и обозначения швов сварных соединений
4	2.313—68 *	ЕСКД. Условные изображения и обозначения швов неразъемных соединений
5	3.1419—74	ЕСТД. Правила оформления документов на типовые технологические процессы сварки
6	3.1406—74	ЕСТД. Правила оформления документов на сварку
7	3.1426—76	ЕСТД. Правила оформления документов, применяемых при автоматизированном проектировании технологических процессов. Сварка
8	3.1502—74	ЕСТД. Правила оформления документов на технический контроль
9	3.1427—77	ЕСТД. Правила оформления документов на процессы пайки: волной припоя, погружением в расплавленный припой, индукционной, электродуговой, электросопротивлением, электронным лучом, оптическим излучением, плазменной
10	14249—73	Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность
11	17349—71	Пайка. Способы
12	17325—71	Пайка. Термины и определения
13	19248—73	Припои. Классификация
14	19249—73	Соединения паяные. Основные типы и параметры
15	3.1417—74	ЕСТД. Правила оформления документации на процессы пайки
16	2.702—75	ЕСКД. Правила выполнения электрических схем
17	2.413—72	ЕСКД. Правила выполнения конструкторской документации изделий, изготовляемых с применением электрического монтажа
18	2.410—68 *	ЕСКД. Правила выполнения чертежей металлических конструкций
19	2.314—68 *	ЕСКД. Указания на чертежах о маркировании и клеймении изделий
20	2.310—68	ЕСКД. Нанесение на чертежах обозначений покрытий, термической и других видов обработки
21	10356—63	Отклонение формы и расположения поверхностей. Основные определения. Предельные отклонения
22	2.307—68*	ЕСКД. Нанесение размеров и предельных отклонений
23	2.308—68	ЕСКД. Указание на чертежах предельных отклонений формы и расположения поверхностей
24	2789—73	Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики
25	2.309—73	ЕСКД. Обозначения шероховатости поверхностей
26	9378—75	Образцы шероховатости поверхности (сравнения). Технические требования
27	8908—58	Нормальные углы и допуски на угловые размеры
28	7713—62*	Допуски и посадки. Основные положения
29	11710—66	Допуски и посадки деталей из пластмасс
30	3.1402—74	ЕСТД. Правила оформления документов на раскрой и отрезку заготовок
31	12.3.003—75	ССБТ. Работы электросварочные. Общие требования безопасности

Продолжение табл 2

№ по пор.	Номер	Наименование
32	12.2.007.0—75	ССБТ. Оборудование электротехническое. Общие требования безопасности
33	12.2.007.8—75	ССБТ. Оборудование электросварочное и для плазменной обработки. Требования безопасности
34	21910—76	Металлы. Характеристики жаростойкости. Наименования, определения, расчетные формулы и единицы величин
35	13819—68	Коррозия металлов. Девятибальная шкала коррозионной стойкости
36	9.073—77	ЕСЗКС. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Виды, ряды толщин и обозначения
		Основной материал
37	380—71*	Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки и общие технические требования
38	1050—74*	Сталь углеродистая качественная конструкционная
39	16523—70*	Сталь листовая углеродистая качественная и обыкновенного качества общего назначения
40	9045—70*	Сталь тонколистовая холоднокатаная малоуглеродистая качественная для холодной штамповки
41	4543—71*	Сталь легированная конструкционная. Марки и технические ребования
42	1051—73*	Сталь качественная калиброванная
43	1435—74	Сталь инструментальная углеродистая
44	5950—73*	Сталь инструментальная легированная
45	6713—75*	Сталь углеродистая и низколегированная конструкционная для мостостроения. Марки и технические требования
46	5520—79	Сталь листовая углеродистая и низколегированная для котлостроения и сосудов, работающих под давлением. Технические требования
47	5521—76	Сталь свариваемая для судостроения. Марки, сортамент, технические требования
48	19281—73	Сталь низколегированная сортовая и фасонная
49	535—58*	Сталь сортовая низколегированная и углеродистая обыкновенного и повышенного качества
50	5157—53**	Сталь прокатная. Профили разных назначений. Сортамент
51	8239—72	Сталь горячекатаная. Балки двутавровые. Сортамент
52	8240—72	Сталь горячекатаная. Швеллеры. Сортамент
53	8509—72	Сталь прокатная, угловая равнополочная. Сортамент
54	8510—72	Сталь прокатная угловая неравнополочная. Сортамент
55	12492—67**	Сталь специальных профилей для сельскохозяйственных машин. Сортамент
56	2590—71*	Сталь горячекатаная круглая. Сортамент
57	5781—75	Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций
58	5.1459—72*	Сталь горячекатаная периодического профиля для армирования железобетонных конструкций. Требования к качеству аттестованной продукции
59	10884—71	Сталь стержневая арматурная термически упрочненная периодического профиля
60	5632—72**	Стали высоколегированные и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки и техиические требования
61	5.1754—72*	Сталь тонколистовая коррозионно-стойкая марки 12Х18Н10Т. Требования к качеству аттестованной продукции

Продолжение табл. 2

№ по пор.	Номер	Наименование
62	19282—73	Сталь низколегированная толстолистовая и широкополосная универсальная
63	19903—74	Сталь листовая горячекатаная. Сортамент
64	19904—74	Сталь листовая холоднокатаная. Сортамент
65	10885—75*	Сталь листовая горячекатаная двухслойная коррозионно-стойкая
66	21427.0—75*	Сталь электротехническая листовая. Классификация и марки
67	503—71*	Лента стальная холоднокатаная из низкоуглеродистой стали
68	19851—74	Лента из углеродистой стали холоднокатаная резаная
69	2283—69*	Лента стальная холоднокатаная из инструментальной и пружинной стали
70	4986—70*	Лента холоднокатаная из коррозионно-стойкой и жаростойкой стали
71	103—76	Сталь прокатная полосовая. Сортамент
72	19771—74*	Уголки стальные гнутые равнополочные. Сортамент
73	19772—74*	Уголки стальные гнутые неравнополочные. Сортамент
74	8278—75*	Швеллеры стальные гнутые равнополочные. Сортамент
75	8281—69*	Сталь холодногнутая. Швеллеры неравнополочные. Сортамент
76	13229—78	Сталь холодногнутая зетовая равнополочная. Сортамент
77	8282—76	Профили стальные гнутые. С-образные равнополочные. Сортамент
78	8283—77	Сталь холодногнутая корытная равнополочная. Сортамент
79	9234—74	Профили стальные гнутые листовые с трапециевидным гофром. Сортамент
80	14635—69*	Сталь холодногнутая специальных профилей для вагоностроения. Сортамент
81	8275—57	Профили гнутые стальные. Фасонные профили. Сортамент
82	12336—66	Сталь холодногнутая. Профили замкнутые сварные квадратные и прямоугольные общего назначения. Сортамент
83	8732—78	Трубы стальные бесшовные горячекатаные. Сортамент
84	8734—75*	Трубы стальные бесшовные холоднодеформированные. Сортамент
85	17374—77 17380—77	Детали трубопроводов бесшовные приварные из углеродистой стали на $p_y \leqslant 10$ МПа ($\leqslant 100$ кгс/см^2)
86	9941—72*	Трубы бесшовные холодно- и теплодеформированные из коррозионно-стойкой стали
87	14068—79	Трубы из нержавеющей стали электросварные
88	10192—62*	Трубы бесшовные биметаллические. Сортамент
89	18599—73*	Трубы напорные из полиэтилена
90	11069—74*	Алюминий первичный. Марки
91	2685—75*	Сплавы алюминиевые литейные. Марки, технические требования и методы испытаний
92	4784—74*	Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. Марки
93	21631—76	Листы из алюминия и алюминиевых сплавов
94	859—78	Медь. Марки
95	495—77	Листы и полосы медные
96	931—70	Листы и полосы латунные
97	2060—73*	Прутки латунные
98	5063—73	Полосы из медноникелевых сплавов
99	2584—75	Провода контактные из меди и ее сплавов — бронз

Продолжение табл. 2

№ по пор.	Номер	Наименование
100	1761—70*	Полосы и ленты из оловянно-фосфористой и оловянно-цинковой бронзы
101	4748—70*	Полосы и ленты из кремнисто-марганцевой бронзы
102	19739—74	Полосы из припоев серебряных
103	8399—57	Полосы из платины, палладия, иридия, родия и их сплавов. Технические условия
104	13498—68	Платина и платиновые сплавы. Марки
105	977—75	Отливки из конструкционной нелегированной и легированной стали. Марки и технические требования
106	1412—70	Отливки из серого чугуна
107	1215—59	Отливки из ковкого чугуна
108	7293—70	Отливки из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом
109	10354—73	Пленка полиэтиленовая
110	10007—72	Фторопласт-4
111	481—71	Паронит
	Сварочное оборудование, аппаратура, средства безопасности труда, емкости для сжижения газов, оснастка	
112	21694—76	Оборудование сварочное механическое. Общие технические требования
113	6731—77Е	Кабели для электрической дуговой сварки
114	433—73*	Кабели силовые с резиновой изоляцией
115	1173—77	Ленты медные. Технические условия
116	434—78	Проволока прямоугольного сечения, ленты и шины медные для электротехнических целей
117	6613—73*	Сетки проволочные тканые с квадратными ячейками нормальной точности
118	3584—73	Сетки проволочные тканые с квадратными ячейками для рассева сыпучих материалов
119	5.1757—72	Сетки проволочные тканые с квадратными ячейками контрольные. Требования к качеству аттестованной продукции
120	5937—68	Ленты электроизоляционные из стеклянных нитей
121	8481—75	Ткани авиационные из стеклянных крученых комплексных нитей
	Аппаратура	
122	8711—60*	Амперметры и вольтметры. Технические требования
123	17791—72*	Приборы электронно-лучевые. Термины и определения
124	2405—72*	Манометры, вакуумметры и мановакуумметры показывающие. Общие технические требования
125	8625—77	Манометры, вакуумметры и мановакуумметры показывающие. Основные параметры и размеры
126	6521—72*	Манометры и вакуумметры пружинные образцовые
127	13717—74*	Приборы манометрического принципа действия показывающие электроконтактные
128	215—73*	Термометры ртутные стеклянные лабораторные
129	13646—68	Термометры стеклянные ртутные для точных измерений
130	5.1851—73*	Термометры ртутные стеклянные для точных измерений типов ТР-I, ТР-II, ТР-III, ТР-IV. Требования к качеству аттестованной продукции
131	577—68*	Индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм

Продолжение табл. 2

№ по пор.	Номер	Наименование
	Средства безопасности труда	
132	4997—75*	Ковры диэлектрические резиновые
133	9398—68*	Костюм мужской брезентовый
134	9397—68*	Костюм женский брезентовый
135	9402—70	Костюм мужской для работ в горячих цехах
136	12.4.001—73	ССБТ. Очки защитные. Термины и определения
137	12.4.003—74	ССБТ. Очки защитные. Типы
138	1361—69*	Щитки и маски для защиты электросварщика. Основные параметры и технические требования
139	12.4.023—76	ССБТ. Средства индивидуальной защиты. Щитки защитные. Общие технические требования и методы испытаний
140	12.4.035—78	ССБТ. Средства индивидуальной защиты. Щитки защитные для электросварщиков. Технические условия
	Емкости	
141	19662—74	Резервуары изотермические для сжиженного углекислого газа. Типы, основные параметры и размеры
142	5 952—71*	Резервуары для жидкого кислорода и азота ТРЖК-2У, ТРЖК-3, ТРЖК-4М. Требования к качеству аттестованной продукции
143	17518—79	Цистерны транспортные для жидкого кислорода и азота
	Оснастка	
144	19140—78	Вращатели сварочные горизонтальные двухстоечные. Типы, основные параметры и размеры
145	19141—78	Вращатели сварочные вертикальные. Типы, основные параметры и размеры
146	19142—78	Кантователи сварочные двухстоечные с подъемными центрами. Основные параметры и размеры
147	19143—78	Манипуляторы сварочные. Типы, основные параметры и размеры
148	21327—75	Роликоопоры и секции сварочных роликовых стендов. Типы, основные параметры и размеры
149	21328—75	Приводы сварочных роликовых стендов. Типы и основные параметры
150	18003—72	Балки 60×120 мм сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
151	17980—72	Валики сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
152	17982—72	Винты нажимные сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
153	17984—72	Гайки колпачковые с буртиком сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
154	17985—72	Гайка шестигранная М24 высокая сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
155	17986—72	Гайки круглые с радиально расположенными отверстиями сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры

Продолжение табл. 2

№ по пор.	Номер	Наименование
156	17988—72	Державка сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
157	17990—72	Державка призматическая 60×120 мм сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
158	18042—72	Домкрат сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
159	17935—72	Кольца базовые сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
160	17970—72	Корпусы упоров пазовых сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
161	17971—72	Корпус эксцентриковых прихватов сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
162	17972—72	Корпусы прижимов сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
163	17973—72	Крышки опор валиков сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
164	17965—72	Кулачки полупризматические сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
165	17944—72	Опора прямоугольная высотой 60 мм сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
166	17945—72	Опора прямоугольная высотой 60 мм с центральным Т-образным пазом сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
167	17947—72	Опоры прямоугольные 60×120 мм с центральным Т-образным пазом сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
168	17949—72	Опора круглая сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
169	17950—72	Опоры угловые 60×120 мм сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
170	17953—72	Опоры угловые 180×120 мм сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
171	17954—72	Опора эксцентрика сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры

Продолжение табл. 2

№ по пор	Номер	Наименование
172	17955—72	Опоры валиков сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
173	18006—72	Опоры облегченные с основанием 120×180 мм сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
174	18012—72	Опора поворотная высотой 90 мм сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
175	18016—72	Опора угловая регулируемая 135 × 180 мм сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
176	18018—72	Опора регулируемая с основанием 120×180 мм сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
177	18047—72	Опора угловая поворотная сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
178	17967—72	Планки шириной 60 мм с установочными отверстиями диаметром 26 и 35 мм сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
179	17968—72	Планки шириной 60 мм передвижные установочные сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
180	17969—72	Планки шириной 60 мм и Т-образным пазом сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
181	17880—72	Планки соединительные с четырьмя Т-образными пазами сборно-разборных приспособлений с пазами 8 и 12 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
182	17882—72	Планки установочные сборно-разборных приспособлений с пазами 8 и 12 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
183	17878—72	Планки призматические с хвостовиком сборно разборных приспособлений с пазами 8 и 12 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
184	17883—72	Плиты сборно-разборных приспособлений с пазами 12 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
185	17934—72	Плиты сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
186	17938—72	Подкладки прямоугольные 60×120 мм с центральным Т-образным пазом сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
187	17939—72	Подкладки прямоугольные 120×180 мм сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры

Продолжение табл. 2

№ по пор.	Номер	Наименование
188	17942—72	Подкладки угловые 120×180 мм сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
189	17884—72	Полосы с двумя поперечными пазами сборно-разборных приспособлений с пазами 8 и 12 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
190	17886—72	Полосы с четырьмя и шестью поперечными пазами сборно-разборных приспособлений с пазами 8 и 12 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
191	17887—72	Полосы шириной 90 и 120 мм сборно-разборных приспособлений с пазами 12 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
192	17964—72	Полупризмы подкладные сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
193	17895—72	Пробки сборно-разборных приспособлений с пазами 12 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
194	17996—72	Прокладки сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
195	17896—72	Проставки передвижные сборно-разборных приспособлений с пазами 8 и 12 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ
196	17956—72	Проставки прямоугольные с установочными отверстиями диаметрами 26 и 35 мм сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
197	17957—72	Проставки прямоугольные со смещенными с оси установочными отверстиями диаметрами 45 и 58 мм сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
198	17958—72	Проставки прямоугольные с установочными отверстиями диаметрами 45, 58 и 70 мм сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
199	17960—72	Проставки прямоугольные с пересекающимися установочными отверстиями диаметрами 35 и 45 мм сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
200	17888—72	Прижимы винтовые поворотные сборно-разборных приспособлений с пазами 8 и 12 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
201	17889—72	Прижимы откидные сборно-разборных приспособлений с пазами 8 и 12 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
202	17890—72	Прижимы рычажно-эксцентриковые регулируемые сборно-разборных приспособлений с пазами 8 и 12 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
203	18028—72	Прижим винтовой поворотный сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры

Продолжение табл. 2

№ по пор.	Номер	Наименование
204	18029—72	Прижимы винтовые наклонные сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
205	18030—72	Прижимы винтовые откидные сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
206	18031—72	Прижимы винтовые цилиндрические с кольцевыми пазами сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
207	18032—72	Прижимы вертикальные быстросъемные сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
208	18033—72	Прижимы горизонтальные быстросъемные сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
209	18034—72	Прижим эксцентриковый сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
210	18035—72	Прижимы рычажно-эксцентриковые вертикальные сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
211	18036—72	Прижимы рычажно-эксцентриковые горизонтальные сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
212	17961—72	Призма опорная сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
213	17962—72	Призма опорная ступенчатая сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
214	17963—72	Призмы с хрестовиком сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
215	18019—72	Призмы шириной 10 мм с откидным зажимом сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
216	17892—72	Призмы опорные сборно-разборных приспособлений с пазами 8 и 12 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
217	17893—72	Призмы опорные узкие сборно-разборных приспособлений с пазами 8 и 12 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
218	17894—72	Прихваты шарнирные сборно-разборных приспособлений с пазами 8 и 12 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
219	17991—72	Пяты круглые сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры

Продолжение табл. 2

№ по пор.	Номер	Наименование
220	17992—72	Пята прямоугольная сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
221	18045—72	Пяты клинообразные сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
222	18046—72	Пяты шарнирные сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
223	18039—72	Распорки раздвижные сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ Конструкция и размеры
224	18041—72	Распорки пустотелые с диапазоном регулирования от 60 до 190 мм сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
225	17936—72	Секции базовых колец сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
226	17979—72	Стаканы Г-образных прихватов сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
227	17897—72	Стаканы установочные сборно-разборных приспособлений с пазами 12 и 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
228	17898—72	Стойка высотой 65 мм сборно-разборных приспособлений с пазами 8 и 12 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
229	18038—72	Струбцины откидные сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
230	17999—72	Сухари сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
231	17900—72	Сухари сборно-разборных приспособлений с пазами 8 и 12 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
232	17901—72	Трубы сборно-разборных приспособлений с пазами 8 и 12 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
233	17998—72	Траверсы сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
234	17902—72	Уголки высотой 45 и 60 мм сборно-разборных приспособлений с пазами 8 и 12 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
235	17903—72	Уголки высотой 90 и 120 мм сборно-разборных приспособлений с пазами 12 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
236	17906—72	Угольники крепежные 60×60 мм сборно-разборных приспособлений с пазами 8 и 12 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ Конструкция и размеры

Продолжение табл. 2

№ по пор.	Номер	Наименование
237	17907—72	Угольники передвижные сборно-разборных приспособлений с пазами 8 и 12 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
238	18000—72	Угольники базовые с основанием 180×240 мм сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
239	18002—72	Угольники ребристые сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
240	18008—72	Угольники установочные с основанием 120×180 мм сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
241	18010—72	Угольник переходной шириной 120 мм сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
242	18044—72	Упор шарнирный 120×90 мм сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
243	17987—72	Упоры круглые сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
244	18021—72	Фиксаторы сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
245	18022—72	Фиксаторы вытяжные сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ
246	18023—72	Фиксаторы винтовые сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
247	18024—72	Хомуты сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
248	17909—72	Хомутики сборно-разборных приспособлений с пазами 8 и 12 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
249	17993—72	Цапфы сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
250	17994—72	Цапфы с резьбовым хвостовиком сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
251	17910—72	Центры тарельчатые сборно-разборных приспособлений с пазами 8 и 12 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
252	17977—72	Центры упорные грибковые сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
253	17978—72	Центры упорные тарельчатые сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
254	17983—72	Шпильки сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры

Продолжение табл. 2

№ по пор.	Номер	Наименование
255	17911—72	Шпонки привертные переходные сборно-разборных приспособлений с пазами 8 и 12 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
256	17913—72	Шпонки Т-образные сборно-разборных приспособлений с пазами 8 и 12 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
257	17975—72	Шпонки привертные переходные от 16 к 12 мм сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
258	17976—72	Шпонки Т-образные сборно-разборных приспособлений с пазами 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
259	17826—72	Приспособления сборно-разборные с пазами 8, 12 и 16 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Детали и сборочные единицы. Общие технические требования
260	17844—72	Колодки соединительные сборно-разборных приспособлений с пазами 12 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
261	17850—72	Косынка двусторонняя высотой 240 мм сборно-разборных приспособлений с пазами 12 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
262	17854—72	Муфты соединительные сборно-разборных приспособлений с пазами 8 и 12 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
263	17857—72	Накладка сборно-разборных приспособлений с пазами 12 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
264	17858—72	Наконечники сборно-разборных приспособлений с пазами 12 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
265	17873—72	Переходники установочные сборно-разборных приспособлений с пазами 8 и 12 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
266	17874—72	Петли сборно-разборных приспособлений с пазами 8 и 12 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
267	17845—72	Кронштейны сборно-разборных приспособлений с пазами 12 мм из стандартных элементов для сборочно-сварочных работ. Конструкция и размеры
		Сварные конструкции и их элементы
		Краны
268	22338—77	Краны стреловые железнодорожные. Технические условия
269	7075—72*	Краны мостовые ручные
270	7890—73	Краны подвесные электрические однобалочные общего назначения
271	11283—72*	Краны портальные для районов с умеренным климатом. Общие технические условия

Продолжение табл. 2

№ по пор.	Номер	Наименование
		Вагоны
272	12406—79	Вагоны пассажирские магистральных железных дорог колеи 1524 мм. Технические требования
273	10674—75	Вагоны-цистерны магистральных железных дорог колеи 1524 мм. Технические требования
274	10935—69	Вагоны крытые грузовые магистральных железных дорог колеи 1524 мм. Технические требования
275	10936—75	Полувагоны магистральных железных дорог. Колеи 1520 (1524) мм
276	5973—78	Вагоны-самосвалы (думпкары) железных дорог колеи 1524 мм. Технические требования
277	10527—70*	Тележки двухосные пассажирских вагонов магистральных железных дорог колеи 1524 мм. Технические требования
278	9246—70	Тележки двухосные грузовых дорог колеи 1524 мм. Основные параметры, размеры и технические требования
		Трубы
279	3262—75*	Трубы стальные водогазопроводные
280	107—74	Трубы стальные сварные газопроводные
281	8696—74*	Трубы стальные электросварные со спиральным швом. Общего назначения
282	10704—76	Трубы стальные электросварные прямошовные. Сортамент
283	10705—63*	Трубы стальные электросварные. Технические требования
284	10706—76	Трубы стальные электросварные, прямошовные. Технические требования
285	10707—73	Трубы стальные электросварные холоднотянутые и холоднокатаные. Сортамент
286	20295—74*	Трубы стальные сварные для магистральных газонефтепроводов
287	11068—64*	Трубы из нержавеющей стали электросварные
288	5005—65*	Трубы стальные электросварные для карданных валов
289	12132—66*	Трубы стальные электросварные и бесшовные для мотовелопромышленности
290	11249—73	Трубы стальные свертные паяные двухслойные
291	5.1527—72*	Трубы стальные свертные паяные двухслойные для холодильников. Требования к качеству аттестованной продукции
		Емкости
292	9931—69	Сосуды и аппараты цилиндрические стальные сварные. Типы и основные размеры
293	5172—63	Газгольдеры стальные постоянного объема цилиндрические. Параметры и основные размеры
294	15860—70*	Баллоны стальные сварные для сжиженных газов на давление 6 кгс/см^2
295	5044—71	Барабаны стальные для химических продуктов
296	17366—71*	Бочки стальные сварные толстостенные для химических продуктов
297	6247—72	Бочки стальные сварные с обручами катания на обечайке
298	15908—70*	Бочка стальная сварная для губчатого титана
299	13950—76*	Бочки стальные сварные и закатанные с гофрами на обечайке

Продолжение табл. 2

№ по пор.	Номер	Наименование
300	9731—61	Баллоны стальные бесшовные большой емкости для газов на $p_y \leqslant 250$ кгс/см²
301	5105—76	Канистры стальные для горючего и масел Технические условия
302	5.1409—74	Сосуд Дьюара общего назначения типа АСД-25 с вакуумно-порошковой изоляцией. Требования к качеству аттестованной продукции
		Прочие конструкции и элементы
303	12169—66	Заготовки стальные, вырезанные кислородной резкой. Припуски
304	8536—68	Заготовки судовых валов и балеров рулей. Технические требования
305	1343—76	Лапы и стойки культиваторов
306	20024—74	Опоки литейные сварные из прокатной полосовой выпуклой стали размерами в свету: длиной от 400 до 500 мм, шириной от 300 до 400 мм, высотой 75 мм. Конструкция и размеры
307	17131—71	Опоки литейные сварные из литых стальных элементов прямоугольные размерами в свету: длиной от 1000 до 1200 мм, шириной 700, 800 мм, высотой 450, 500 мм. Конструкция и размеры
308	2715—75	Сетки металлические проволочные Типы. Параметры и основные предельные размеры
309	8478—66	Сетки сварные для армирования железобетонных конструкций. Сортамент и технические требования
310	5.1407—72	Сильфоны сварные. Требования к качеству аттестованной конструкции
311	21754—76	Сильфоны сварные металлические. Технические условия
312	14098—68	Соединения сварные арматуры железобетонных изделий и конструкций. Контактная и ванная сварка. Основные типы и конструктивные элементы
313	19293—73	Соединения сварные арматуры предварительно напряженных железобетонных конструкций. Сварка контактная и плавлением Основные типы и конструктивные элементы
314	19292—73	Соединения сварные элементов закладных деталей сборных железобетонных конструкций. Контактная и автоматическая сварка плавлением. Основные типы и конструктивные элементы
315	2319—70	Цепи круглозвенные грузовые и тяговые нормальной прочности
316	7070—75	Цепи круглозвенные сварные технические и общего назначения
317	5.1925—73*	Цепи навесные сварные для цепных завес вращающихся цементных печей. Требования к качеству аттестованной продукции
318	228—65*	Цепи якорные, сварные детали и узлы. Размеры и технические требования
319	1255—67*	Фланцы с соединительным выступом стальные плоские приварные на p_y от 1 до 25 кгс/см². Конструкция, размеры и технические требования
320	1268—67*	Фланцы стальные свободные на приварном кольце. Конструкция, размеры и технические требования
321	4437—48*	Фланцы судовых трубопроводов. Фланцы трубные стальные приварные встык. Размеры и технические требования

Продолжение табл. 2

№ по пор.	Номер	Наименование
322	1538—63*	Фланцы судовых трубопроводов. Фланцы трубные латунные приварные или припаянные. Размеры и технические требования
323	12828—67*	Фланцы с выступом или впадиной стальные плоские приварные на p_y от 1 до 25 кгс/см². Конструкция, размеры и технические требования
324	12830—67*	Фланцы с соединительным выступом стальные приварные встык на p_y от 1 до 200 кгс/см². Конструкция, размеры и технические требования
325	10423—63	Фланцы судовых трубопроводов. Фланцы трубные из алюминиевых сплавов плоские приварные. Размеры и технические требования
326	5871—51	Стаканы переборочные прямые фланцевые из цветных сплавов. Литые и паяные.
		Контроль качества сварных и паяных соединений, исходных материалов и сварных конструкций.
		Общие положения
327	17341—71	Качество продукции. Основные понятия управления. Термины и определения
328	17102—71	Качество продукции. Классификация продукции по качеству и виды дефектов. Термины и определения
329	16504—70	Качество продукции. Контроль и испытания. Основные термины и определения
		Методы контроля
330	3242—69	Швы сварных соединений. Методы контроля качества
331	14.317—75	ЕСТПП. Правила разработки процессов контроля
332	18353—73	Контроль неразрушающий. Классификация методов
333	18442—73	Качество продукции. Неразрушающий контроль. Капиллярные методы
334	14782—76	Швы сварных соединений. Методы ультразвуковой дефектоскопии
335	12503—75	Сталь. Методы ультразвукового контроля. Общие требования
336	22368—77	Контроль неразрушающий. Классификация дефектности стыковых сварных швов по результатам ультразвукового контроля
337	17410—72	Трубы металлические бесшовные цилиндрические. Метод ультразвуковой дефектоскопии
338	21397—75	Контроль неразрушающий. Комплект стандартных образцов для ультразвукового контроля полуфабрикатов и изделий из алюминиевых сплавов. Основные параметры и технические требования
339	7512—75	Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод
340	23055—78	Контроль неразрушающий. Сварка металлов плавлением. Классификация сварных соединений по результатам радиографического контроля
341	20426—75	Контроль неразрушающий. Радиационные методы дефектоскопии. Область применения
342	20415—75	Контроль неразрушающий. Методы акустические. Общие положения
343	16971—71	Швы сварных соединений из винипласта, поливинилхлоридного пластика и полиэтилена. Методы контроля качества. Общие требования

Продолжение табл. 2

№ по пор.	Номер	Наименование
344	6996—66	Сварные соединения. Методы определения механических свойств
345	12004—66	Сталь арматурная. Методы испытаний на растяжение
346	1497—73	Металлы. Методы испытаний на растяжение
347	9454—78	Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженной комнатной и повышенной температурах
348	14019—68	Металлы. Методы технологических испытаний на изгиб
349	2860—65**	Металлы. Методы испытания на усталость
350	10922—75	Арматурные изделия и закладные детали сварные для железобетонных конструкций. Технические требования и методы испытаний
351	8.122—74	Государственная система обеспечения единства измерений. Ротаметры. Методы и средства проверки
352	2990—78	Кабели, провода и шнуры. Метод испытания напряжением
353	3285—77	Корпуса металлических судов. Методы испытаний на непроницаемость и герметичность
354	7122—75	Швы сварные и металл наплавленный. Методы отбора проб для определения химического состава
355	10243—75	Сталь. Методы испытаний и оценки макроструктуры
356	5640—68	Сталь. Металлографический метод оценки микроструктуры листов и ленты
357	6032—75	Стали и сплавы. Методы испытания на межкристаллитную коррозию ферритных, аустенитно-мартенситных, аустенито-ферритных и аустенитных коррозионно-стойких сталей и сплавов на железоникелевой основе
358	13585—68	Сталь. Метод валиковой пробы для определения допускаемых режимов дуговой сварки и наплавки
359	5639—65	Сталь. Методы выявления и определения величины зерна
360	8233—56	Сталь. Эталоны микроструктуры
361	1778—70	Сталь. Металлографические методы определения неметаллических включений
362	1763—68*	Сталь. Методы определения глубины обезуглероженного слоя
363	1429.9—77	Припои оловянно-свинцовые. Методы определения химического состава (девять стандартов)
364	23047—78	Соединения паяные. Метод испытания на растяжение
365	23046—78	Соединения паяные. Метод испытаний на удар
366	21548—76	Пайка. Метод выявления и определения толщины прослойки химического соединения
367	21547—76	Пайка. Метод определения температуры распайки
368	21549—76	Пайка. Метод определения эрозии паяемого материала
369	20486—75	Пайка. Метод определения растекания припоя
370	20485—75	Пайка. Методы определения заполнения зазора припоем
371	20487—75	Пайка. Метод испытаний для оценки влияния жидкого припоя на механические свойства паяемого материала
372	13091.2—13091.8—76	Ферромарганец. Методы определения содержания железа, кобальта и никеля
373	21876.1—21876.5—76	Ферромарганец. Методы определения содержания пяти элементов

Продолжение табл. 2

№ по пор.	Номер	Наименование
		Средства контроля
374	16865—79	Аппаратура для рентгеноструктурного и рентгеноспектрального анализа. Термины и определения
375	16759—71, 16761—71	Гамма—дефектоскопы. Термины и определения
376	16760—75	Гамма-дефектоскопы. Общие технические требования
377	7248—75*	Аппараты рентгеновские. Общие технические условия
378	4.27—71	СПКП. Приборы электромагнитные неразрушающего контроля. Номенклатура показателей
379	9810—69**	Осциллографы электронно-лучевые. Общие технические условия
380	С5.774.28—71	СПКП. Приборы ультразвуковые неразрушающего контроля. Номенклатура показателей.
381	16002—76*	Источники излучения с изотопом цезий—137 для гамма-дефектоскопов. Типы. Основные параметры и размеры
382	16001—76	Источники излучения с изотопом кобальт-60 для гамма-дефектоскопов. Типы. Основные параметры и размеры
383	16003—76*	Источники излучения с изотопом иридий-192 для гамма-дефектоскопов. Типы. Основные параметры и размеры
384	18281—72	Источники гамма-излучения с изотопом кобальт-60 для радиационных установок. Типы, основные параметры и размеры
385	16004—70	Источники излучения для гамма-дефектоскопии. Технические требования и методы испытаний
386	7855—74	Машины разрывные и универсальные для статических испытаний металлов
387	13216—74	Приборы и средства автоматизации ГСП. Надежность. Общие технические требования и методы испытаний
388	6616—74*	Термометры термоэлектрические ГСП. Общие технические условия
389	6651—78	Термометры сопротивления
390	7164—78	Потенциометры и уравновешивающие мосты автоматические ГСП. Общие технические условия
391	5866—76	Станки-качалки
		Стандарты термического класса — сварка плавлением и термическая резка
		Общие положения
392	11969—66	Сварка металлов. Обозначения основных положений сварки плавлением
393	5264—69	Швы сварных соединений. Ручная электродуговая сварка. Основные типы и конструктивные элементы
394	11534—75	Ручная дуговая сварка. Соединения сварные под острыми и тупыми углами
395	8713—70	Швы сварных соединений. Автоматическая и полуавтоматическая сварка под флюсом. Основные типы и конструктивные элементы
396	11533—75	Автоматическая и полуавтоматическая дуговая сварка под флюсом. Соединения сварные под острыми и тупыми углами
397	15164—78	Электрошлаковая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры

Продолжение табл. 2

№ по пор.	Номер	Наименование
398	14771—76	Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры
399	14776—69	Швы сварных соединений электрозаклепочные. Основные типы и конструктивные элементы.
400	16037—70	Швы сварных соединений стальных трубопроводов. Основные типы и конструктивные элементы
401	16098—70	Швы сварных соединений из двухслойной коррозионно-стойкой стали. Основные типы и конструктивные элементы
402	14806—69	Швы сварных соединений. Дуговая сварка алюминия и алюминиевых сплавов. Основные типы и конструктивные элементы
403	16038—70	Швы сварных соединений трубопроводов из меди и медно-никелевого сплава. Основные типы и конструктивные элементы
404	19232—73	Сварка металлов плавлением. Дефекты сварных соединений. Термины и определения
405	16310—70	Швы сварных соединений из винипласта и полиэтилена Основные типы и конструктивные элементы
406	14792—69	Кислородная и плазменно-дуговая резка. Точность деталей и заготовок и качество поверхности реза
407	8856—72	Давления горючих газов
408	5.1044—71	Установка универсальная пайки кристаллов ЭМ-415. Требования к качеству аттестованной продукции
		Сварочные материалы
		Сварочная проволока, прутки, электроды
409	2246—70*	Проволока стальная сварочная
410	10543—75	Проволока стальная наплавочная
411	9389—75	Проволока стальная углеродистая пружинная
412	14963—78	Проволока стальная легированная пружинная
413	1071—67*	Проволока стальная пружинная термически обработанная
414	14085—68	Проволока круглая горячекатаная из углеродистой стали обыкновенного качества. Технические требования
415	7348—63*	Проволока стальная круглая для армирования предварительно напряженных железобетонных конструкций
416	18143—72*	Проволока из высоколегированной коррозионно-стойкой и жаростойкой стали
417	13843—68	Катанка алюминиевая
418	5.807—74	Катанка алюминиевая круглая. Требования к качеству аттестованной продукции
419	7871—75	Проволока сварочная из алюминия и алюминиевых сплавов
420	6132—71*	Проволока алюминиевая круглая электротехническая
421	5307—77	Проволока константановая неизолированная
422	2179—75	Проволока из никеля и кремнистого никеля
423	8803—77	Проволока нихромовая микронных размеров
424	13842—74*	Катанка медная
425	2112—71*	Проволока медная круглая электротехническая
426	16130—72	Проволока и прутки из меди и сплавов на медной основе сварочные
427	10988—75	Прутки из бескислородной меди для электровакуумной промышленности

Продолжение табл. 2

№ по пор.	Номер	Наименование
428	15527—70	Сплавы медно-цинковые (латуни), обрабатываемые давлением. Марки
429	1066—75	Проволока латунная
430	5222—72*	Проволока из кремнемарганцевой бронзы. Сортамент и технические условия
431	18903—73	Проволока вольфрамовая. Сортамент
432	18905—73	Проволока молибденовая. Сортамент
433	19746—74	Проволока из припоев серебряных
434	5.1619—72*	Проволока вольфрам-молибденовая. Марка ВАМ-5. Требования к качеству аттестованной продукции
435	5.1620—72*	Проволока вольфрам-рениевая. Марка ВАР-5. Требования к качеству аттестованной продукции
436	5.1074—71	Проволока из припоя марки ПСр 45. Требования к качеству аттестованной продукции
437	7222—75	Проволока из золота, серебра и их сплавов
438	18380—73	Проволока из платины и ее сплавов
439	18390—73	Проволока из палладия и его сплавов
440	19351—74	Проволока из иридия и родия
441	5.1491—72	Проволока порошковая марки ПП-АН125 для наплавки. Требования к качеству аттестованной продукции
442	21449—75	Прутки для наплавки
443	2671—70	Прутки чугунные для сварки и наплавки
444	5.1163—71	Прутки из стали Х15Н5Д2 Т-Ш (ЭП410У-Ш). Требования к качеству аттестованной продукции
445	5.1165—71	Прутки из сплава 0Х15Н65 М16В (ЭП-567). Требования к качеству аттестованной продукции
446	1535—71	Прутки медные
447	5.1149—71*	Прутки латунные марки ЛС59-1. Требования к качеству аттестованной продукции
448	5.1215—72	Электроды металлические марки АНО-4 для дуговой сварки малоуглеродистых конструкционных сталей. Требования к качеству аттестованной продукции
449	9466—75	Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки сталей и наплавки. Классификация, размеры и общие технические требования
450	9467—75	Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей. Типы
451	10051—75	Электроды покрытые металлические для ручной дуговой наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами. Типы
452	10052—75	Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами. Типы
		Металлы, полимеры, припои, флюсы, рудные материалы, органика, силикаты, ферросплавы, реактивы, газы, разные материалы
		Металлы
453	6008—75	Марганец металлический
454	849—70*	Никель
455	492—73*	Никель, сплавы никелевые и медно-никелевые, обрабатываемые давлением. Марки
456	5905—67*	Хром металлический. Марки и технические требования
457	123—78*	Кобальт
458	741.0—741.18—69	Кобальт. Методы химического анализа
459	14338.0—14338.4—74	Молибден. Методы химического анализа
460	14316—74	Молибден. Методы спектрального анализа

Продолжение табл. 2

№ по пор.	Номер	Наименование
461	14339—0—14339.5—69	Вольфрам. Методы химического анализа
462	14315—69	Вольфрам. Методы спектрального анализа
463	6836—72	Серебро и серебряные сплавы. Марки
464	860—75	Олово
465	5539—73*	Глет свинцовый
466	493—54**	Бронзы безоловянные. Марки
467	10994—74*	Сплавы прецизионные. Марки
468	3882—74*	Сплавы твердые спеченные. Марки
469	4515—75	Сплав медь—фосфор
470	9849—74*	Порошок железный
471	4960—75	Порошок медный электролитический
472	9721—74	Порошок кобальтовый
473	9722—71*	Порошок никелевый
474	14086—68	Порошки распыленные из нержавеющих хромоникелевых сталей и никеля
475	21448—75	Порошки из сплавов для наплавки
476	11546—75	Смеси порошков для наплавки
477	5494—71	Пудра алюминиевая пигментная
		Припои
478	5.1168—71*	Припой оловянно-свинцовый ПОС-25 в прутках. Требования к качеству аттестованной продукции
479	1499—70*	Припои оловянно-свинцовые
480	16883.0—71	Серебряно-медно-цинковые припои. Общие требования к методам анализа
481	19746—74	Припои серебряные. Марки
		Флюсы
482	9087—69*	Флюсы сварочные плавленые
483	22974.0—78—22974.10—78	Флюсы сварочные плавленые. Методы химического анализа
484	5.1929—73*	Флюсы сварочные плавленые марок АН-20С и АН-20П. Требования к качеству аттестованной продукции
485	21639.0—21639.11—76	Флюсы для электрошлакового переплава. Общие требования и методы определения составляющих
486	19250—73	Флюсы паяльные. Классификация
		Рудные материалы, органика, силикаты
487	4423—48	Материалы покрытий электродов для дуговой сварки. Методы отбора проб
488	4415—75	Мел для электродных покрытий
489	4417—75	Песок кварцевый для сварочных материалов
490	17498—72	Мел. Виды, марки и основные технические требования
491	4416—73**	Мрамор для сварочных материалов
492	7699—68	Крахмал картофельный
493	6034—74*	Декстрины
494	16361—70*	Мука древесная. Технические требования
495	4422—73	Шпат полевой для электродных покрытий
496	18525—73*	Шпат полевой молотый для электродных покрытий. Метод определения содержания влаги
497	18526—73*	Шпат полевой молотый для электродных покрытий. Метод определения гранулометрического состава
498	972—74	Бокситы. Классификация
499	2169—69	Кремний кристаллический

Продолжение табл. 2

№ по пор.	Номер	Наименование
500	9077—59	Кварц молотый пьезовидный
501	6138—61*	Каолин обогащенный Просяновского и Глубовецкого месторождений. Технические требования
502	22938—78	Концентрат рутиловый. Технические требования
503	212—76	Концентрат молибденовый. Технические требования
504	213—73*	Концентрат вольфрамовый
505	4418—75	Концентрат марганцевый для покрытия электродов
506	3226—77	Глины формовочные. Классификация. Технические требования
507	6912—74**	Глиноземы
508	13583.0—79—13583.11—75	Глиноземы. Общие требования к методам химического анализа
509	7618—70***	Шпат плавиковый. Марки и технические требования
510	4421—73	Концентрат плавиково-шпатовый для сварочных материалов
511	5279—74	Графит кристаллический литейный
512	10274—72*	Графит электроугольный
513	3349—71*	Кокс литейный каменноугольный. Технические требования
514	6217—74	Уголь активный древесный дроблёный
515	14327—69*	Слюда мусковит молотая электродная
		Технические требования
516	14328.0—14328.5—77	Слюда мусковит. Методы химического анализа
517	855—74**	Слюда молотая для резиновой промышленности
518	13079—67	Силикат натрия растворимый
519	11810—66	Силикат — глыба. Норма точности взвешивания
520	13078—67*	Стекло натриевое жидкое
		Ферросплавы
521	4755—70	Ферромарганец. Марки и технические требования
522	5165—49*	Ферросплавы. Ферромарганец доменный
523	1415—78	Ферросилиций. Технические условия
524	13230.1—13230.9—67	Ферросплавы. Ферросилиций. Методы анализа
525	4761—67*	Ферротитан. Марки и технические требования
526	14250.1—14250.9—69	Ферротитан. Методы анализа
527	16773—71	Феррониобий. Марки и технические требования
528	11851—79	Ферросплавы. Ферросиликохром
529	4759—69	Ферромолибден. Марки и технические требования
530	13151.0—13151.11—77	Ферромолибден. Методы анализа
531	4757—77	Феррохром. Марки и технические требования
532	21600.1—21600.16—76	Ферросплавы. Феррохром. Методы анализа
533	5.382—70	Феррохром. Требования к качеству аттестованной продукции
534	4760—49*	Ферросплавы. Феррованадий
535	13217.7—13217.11—67	Ферросплавы. Феррованадий. Методы анализа
536	17293—71	Ферровольфрам
537	14638.0—14638.15—69	Ферровольфрам. Методы химического анализа
538	14848—69	Ферробор
539	14021.1—14021.8—78	Ферробор. Методы анализа
540	3647—71	Материалы абразивные в зерне. Классификация по крупности, нормы зернового состава и методы испытаний

Продолжение табл. 2

№ по пор.	Номер	Наименование
541	5744—74*	Карбид бора. Материалы абразивные в зерне
542	1460—76	Карбид кальция
543	4762—71	Силикокальций
544	4756—77	Силикомарганец. Технические условия
		Реактивы
545	4221—76	Реактивы. Калий углекислый
546	6995—77	Реактивы. Метанол — яд.
547	2222—78Е	Метанол — яд технический. Технические условия
548	8595—75	Литий едкий аккумуляторный
549	10297—75	Индий
550	3765—78	Аммоний молибденовокислый
551	5855—78	Диметиланилин
552	8429—77	Бура
553	4173—77	Реактивы. Железа окись
554	10262—73*	Реактивы. Цинка окись
555	2912—79Е	Окись хрома техническая
556	4568—74*	Калий хлористый
557	5777—71*	Калий марганцовокислый технический
558	2652—71*	Калий двухромовокислый (бихромат калия) технический
559	19790—74	Селитра калиевая техническая
560	9532—75	Реактивный. Калий тетрафторборат
561	4233—77	Реактивы. Натрий хлористый
562	2871—75	Натрий фтористый технический
563	83—79	Реактивы. Натрий углекислый безводный. Формула
564	2156—76	Натрий двууглекислый (бикарбонат)
565	6053—77	Реактивы. Натрий кислый сернокислый
566	4168—79	Реактивы. Натрий азотнокислый
567	5644—75	Сульфит натрия безводный
568	4328—77	Реактивы. Натрия гидрат окиси (натр едкий)
569	10561—73	Криолит искусственный технический
570	7759—73	Магний хлористый технический. (Бишофит)
571	4526—75	Магния окись. Реактивы
572	742—72	Барий хлористый технический
573	7168—75	Реактивы. Барий фтористый
574	2149—75	Барий углекислый технический
575	1713—72	Барий азотнокислый технический
576	5100—73*	Сода кальцинированная техническая
577	450—77	Кальций хлористый технический. Формула
578	7167—77	Реактивы. Кальций фтористый
579	7205—78	Реактивы. Марганец углекислый основной
580	4470—70*	Марганца двуокись
581	4330—76	Реактивы. Кадмий хлористый
582	7345—77	Цинк хлористый технический
583	4780—72	Олово двухлористое очищенное
584	3773—72	Реактивы. Аммоний хлористый
585	4214—78	Реактивы. Кислота кремниевая водная
586	10068—75	Реактивы. Бора окись
587	9875—73	Диэтиламин технический
588	3956—76	Силикагель технический
589	9966—73	Триэтиламин технический
590	6824—76	Глицерин дистиллированный
591	6484—64	Кислота стеариновая техническая (стеарин)
592	701—68	Кислота азотная концентрированная
593	857—69	Кислота соляная синтетическая техническая
594	2184—77	Кислота серная техническая
595	2567—73	Кислота фтористоводородная техническая
596	7580—55	Кислота олеиновая техническая (олеин)
597	10678—76	Кислота ортофосфорная термическая

Продолжение табл. 2

№ по пор	Номер	Наименование
		Газы
598	5583—68*	Кислород газообразный технический и медицинский
599	6331—78	Кислород жидкий технический и медицинский
600	3022—70*	Водород технический
601	9293—74	Азот газообразный и жидкий
602	10157—73*	Аргон газообразный и жидкий
603	5.457—70	Аргон газообразный чистый. Требования к качеству аттестованной продукции
604	12162—77	Двуокись углерода твердая (сухой лед)
605	8050—76	Двуокись углерода газообразная и жидкая. Технические условия
606	10196—62**	Газы углеводородные сжиженные топливные
607	5457—75	Ацетилен растворенный и газообразный технический
		Разные материалы
608	8505—57	Бензин для промышленно-технических целей. Технические требования
609	1012—72*	Бензины авиационные
610	443—76	Бензин — растворитель для резиновой промышленности. Технические условия
611	3134—78	Бензин — растворитель для лакокрасочной промышленности. Технические условия
612	17299—78	Спирт этиловый технический
613	5.845—71	Ацетон технический. Требования к качеству аттестованной продукции
614	2603—71*	Ацетон
615	2768—78	Ацетон технический
616	18499—73*	Керосин для технических целей
617	47532—68*	Керосин осветительный
618	15907—70	Лаки ПФ-170 и ПФ-171
619	6267—74	Смазка ЦИАТИМ-201
620	8773—73*	Смазка ЦИАТИМ-203
621	9433—60*	Смазка ЦИАТИМ-221. Технические требования
622	5774—76	Вазелин конденсационный. Технические условия
623	1045—73	Жир животный технический
624	1013—49*	Масла авиационные. Технические условия
625	6757—73	Масло касторовое техническое
626	16960—71*	Парафины нефтяные
627	8518—57	Концентраты сульфитно-спиртовой барды
628	4056—63*	Грунтовка ГФ-020
629	10834—76	Жидкость гидрофобизирующая 136-41
630	13032—77	Жидкости полиметилсилоксановые. Технические условия
631	8295—73	Графит для изготовления смазок, покрытий и электропроводящей резины
632	18492—73	Патроны термитные для сварки проводов линий электропередач
633	18493—73*	Шашки термитные
634	7438—73*	Бумага курительная
635	11964—66*	Дробь техническая из чугуна и стали
636	9833—73	Кольца резиновые круглого сечения для гидравлических и пневматических устройств
637	11680—76	Ткани хлопчатобумажные бязевой группы. Технические условия
638	20741—75*	Столы сварщика неповоротные

Продолжение табл. 2

№ по пор.	Номер	Наименование
		Сварочные источники тока и оборудование постов. Сварочные автоматы
639	304—77Е	Генераторы постоянного тока для электродуговой сварки
640	2402—77	Агрегаты для дуговой сварки с двигателями внутреннего сгорания. Технические требования
641	7237—77Е	Преобразователи сварочные для дуговой электросварки с генераторами постоянного тока
642	10594—74	Оборудование для дуговой сварки. Ряд номинальных токов
643	5.153—77Е	Выпрямитель электросварочный многопостовой типа ВКСМ-1000-1-1 на полупроводниковых кремниевых вентилях. Требования к качеству аттестованной продукции
644	5.384—75Е	Выпрямитель электросварочный многопостовой типа ВДМ-1601 на полупроводниковых кремниевых вентилях. Требования к качеству аттестованной продукции
645	13821—68*	Выпрямители с крутопадающими внешними характеристиками для дуговой сварки. Основные параметры и технические требования
646	95—69*	Трансформаторы однофазные однопостовые для ручной электродуговой сварки
647	7012—69*	Трансформаторы однофазные однопостовые для автоматической электродуговой сварки под флюсом. Технические условия
648	5.643—70	Установка для полуавтоматической сварки типа МС-41П2-1. Требования к качеству аттестованной продукции
649	5.1584—72	Автомат сварочный тракторного типа ТС-17Р. Требования к качеству аттестованной продукции
650	8213—75Е*	Автоматы для дуговой сварки плавящимся электродом самоходные
651	14651—78	Электрододержатели для ручной дуговой электросварки. Основные параметры и технические требования
652	18130—79Е	Полуавтоматы шланговые для электродуговой сварки плавящимся электродом
653	13333—75*	Аппараты электрические коммутационные. Контакты на основе вольфрама
654	18636—73*	Реостаты балластные для многопостовых источников питания ручной дуговой сварки
655	21139—75	Генераторы ламповые высокочастотные для электротермических установок. Общие технические условия
		Оборудование для газопламенной обработки и пайки
656	13045—67*	Ротаметры общепромышленные
657	5190—67	Генераторы ацетиленовые низкого и среднего давления
658	8766—73	Затворы предохранительные жидкостные для ацетилена
659	5.1381—72	Редукторы баллонные одноступенчатые марок ДКП-1-65 и ДАП-1-65 для газопламенной обработки. Требования к качеству аттестованной продукции
660	5.1780—73	Редуктор баллонный для пропан-бутана одноступенчатый марки ДПП-1-65 для газопламенной обработки. Требования к качеству аттестованной продукции

Продолжение табл. 2

№ по пор.	Номер	Наименование
661	5.1781—73	Редуктор баллонный водородный одноступенчатый марки ДВЦ-1-165. Требования к качеству аттестованной продукции
662	6268—68*	Редукторы для газопламенной обработки металлов. Типы и основные параметры
663	18205—72	Редукторы рамповые для газопламенной обработки
664	13861—68*	Редукторы баллонные для газопламенной обработки. Присоединительные размеры и технические требования
665	699—76	Вентиль кислородного баллона средней вместимостью на $p_p \leqslant 20$ МПа (200 кгс/см²). Технические условия
666	1638—72*	Вентиль малолитражного баллона. Технические условия
667	9356—75*	Рукава резиновые для газовой сварки и резки металлов
668	18698—73	Рукава резиновые напорные с текстильным каркасом
669	1078—71	Ниппели к резиновым рукавам аппаратуры для пламенной обработки металлов
670	16152—70	Соединения ниппельно-муфтовые для газорежущих машин
671	5191—69*	Резаки инжекторные для ручной кислородной резки. Технические требования
672	10796—74	Резаки ручные воздушно-дуговые. Типы и основные параметры
673	10720—75	Электродные угли для воздушно-дуговой резки и сварки металлов
674	5614—74	Машины для термической резки металлов. Типы, основные параметры и размеры
675	14935—77Е	Выпрямители для плазменно-дуговой резки. Технические условия
676	5.71—68	Установка для сварки давлением с косвенным импульсным нагревом СКИН-1. Требования к качеству аттестованной продукции
677	5.1108—71	Машина типа АСШ-70 для кислородной резки листового металла. Требования к качеству аттестованной продукции
678	5948—60	Баллоны ацетиленовые с пористой массой и ацетоном. Технические требования
679	949—73*	Баллоны стальные малого и среднего объема для газов на $p_p \leqslant 20$ МПа ($p_p \leqslant 200$ кгс/см²).
680	5.1465—72	Баллоны стальные сварные для сжиженных газов на давление до 16 кгс/см² емкостью 50 л. Требования к качеству аттестованной продукции
681	5.917—71	Горелки ручные для аргоно-дуговой сварки
682	17356—71	Горелки газовые. Термины и определения
683	17357—71	Горелки газовые. Классификация
684	1077—69*	Горелки однопламенные универсальные для ацетилено-кислородной сварки, пайки и подогрева
685	5.1919—73	Горелка — «звездочка» для ацетилено-кислородной сварки, пайки и подогрева. Требования к качеству аттестованной продукции
686	5.1498—72	Горелка типа ГГП-1-66 для сварки термопластических материалов. Требования к качеству аттестованной продукции
687	12221—71	Аппаратура для плазменно-дуговой резки металлов. Типы и основные параметры
688	12.2.008—75	ССБТ. Оборудование и аппаратура для газопламенной обработки металлов и термического напыления покрытий. Требования безопасности
689	5.70—68	Установка вакуумного напыления УВН-2М-2 Требования к качеству аттестованной продукции

Продолжение табл. 2

№ по пор	Номер	Наименование
690	5.782—71	Установка вакуумного напыления УВН-71Р-2. Требования к качеству аттестованной продукции
691	11966—78	Аппаратура для нанесения покрытий по способу газотермического напыления. Типы и основные параметры
		Прочее оборудование
692	7219—77	Паяльники электрические бытовые
693	7385—73	Краскораспылители пневматические ручные
694	5.154—69	Установка для ультразвуковой сварки с импульсным косвенным нагревом УЗСКН-1. Требования к качеству аттестованной продукции
		Стандарты термомеханического класса сварки
		Общие положения
695	15878—70	Соединения сварные, выполняемые контактной электросваркой. Основные типы и конструктивные элементы
696	20549—75*	Диффузионная сварка в вакууме рабочих элементов разделительных и формообразующих штампов. Типовой технологический процесс
		Сварочное оборудование
697	297—73*	Машины электросварочные контактные. Общие технические требования
698	22990—78	Машины контактные. Термины и определения
699	5.915—71	Машина подвесная К-355 для контактной сварки рельсов. Требования к качеству аттестованной продукции
700	5.524—70	Установка «Контакт-1А» для термокомпрессионной микросварки проволочных выводов. Требования к качеству аттестованной продукции
701	5.525—70	Установка «Контакт-3А» для импульсной микросварки проволочных выводов. Требования к качеству аттестованной продукции
702	5.754—71	Установка термокомпрессионного присоединения выводов типа ЭМ-422. Требования к качеству аттестованной продукции
703	17450—72	Тиратроны импульсные. Основные параметры
704	17452—72	Игнитроны. Основные параметры
705	14111—77	Электроды прямые электросварочных контактных точечных машин
706	15106—69	Машины электросварочные контактные точечные. Хвостовики электродов с конусностью 1 : 10 и 1 : 5 и гнезда посадочные для них. Основные размеры
707	16165—70*	Генераторы транзисторные ультразвуковые для технологических установок. Общие технические условия
		Стандарты механического класса сварки
708	3.1413—73	ЕСТД. Правила оформления документации на процессы сварки трением

ЕСТПП — единая система технологической подготовки производства.
СПКП — система показателей качества продукции.
ССБТ — система стандартов безопасности труда.
ГСП — государственная система приборов.
ЕСЗКС — единая система защиты от коррозии и старения материалов и изделий. Кроме того, в главе опубликованы №№ ГОСТов, устанавливающие единые основные требования, удовлетворяющие интересам народного хозяйства и гарантирующие конкурентоспособность этой продукции на мировом рынке, например ГОСТ 304—77Е.

При составлении гл. 19 автор использовал и переработал материалы, полученные во Всесоюзном научно-исследовательском институте технической информации, классификации и кодирования, а также монографии, учебники, справочники, сборники и периодику.

Приложение к табл. 1.

Дополнительный список стандартов, действующих на 1 мая 1979 г.

Номер ГОСТа	№ по пор. в табл. 2	Номер ГОСТа	№ по пор. в табл. 2
9.103—78	709	23137—78	713
3.1430—78	710	23178—78	714
22917—78	711	23518—79	715
23119—78	712	23566—79	716

Приложение к табл. 2.

Дополнительный предметный список стандартов

№ по пор.	Номер	Наименование
709	9.103—78	ЕСЗКС. Временная противокоррозионная защита металлов и изделий. Термины и определения
710	3.1430—78	ЕСТД. Правила оформления документов на единичные и типовые (групповые) процессы пайки
711	22917—78	Соединители кабеля для дуговой сварки. Технические условия
712	23119—78	Фермы строительные стальные сварные с элементами из парных уголков для производственных зданий. Технические условия
713	23137—78	Припои медноцинковые. Марки
714	23178—78	Флюсы паяльные высокотемпературные фтороборатно- и боридно-галогенидные. Технические условия
715	23518—79	Дуговая сварка в защитных газах. Соединения сварные под острым и тупым углами. Осиовные типы, конструктивные элементы и размеры
716	23566—79	Колонны для сварочных автоматов. Типы, основные параметры и размеры

Государственные стандарты, отмененные на 1 января 1979 г.

107—74	1638—72	6138—61*	13091.2—13091.8—76
228—65*	1713—72	7075—72*	14249—73
5.457—70	5.1780—73	8275—57	14315—69
538—58*	5.1781—73	8509—72	15106—69
5.915—71	5.1851—73*	8510—72	17897—72
1013—49*	4422—73	8518—57	18143—72
5.1381—72	4423—48	8536—68	18389—73
5.1407—72	4437—48*	9397—68*	18390—73
5.1465—72*	4760—49*	9398—68*	18442—73
1499—70*	5871—51	10423—63	18526—73
1538—63*	5948—60	10705—63*	

Государственные стандарты, замененные на 1 мая 1979 г,

5.952—71 заменен 17518—79Е
5.1459—72 заменен 16853—71
17102—71 и 17341—71 заменены 15467—79

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Акулов А. И., Бельчук Г. А., Демянцевич В. П.** Технология и оборудование сварки плавлением. М., Машиностроение, 1977. 432 с.
2. **Государственные** стандарты СССР. Указатель, 1978, т. I, II, III. М., Издательство стандартов, 1978, т. I. 399 с.; т. II, 432 с.; т. III. 351 с.
3. **Государственные** стандарты СССР. Информационные указатели № 1—6. М., Издательство стандартов, 1978, № 1. 128 с.; № 2. 208 с.; № 3. 173 с.; № 4. 159 с.; № 5. 143 с.; № 6. 147 с.
4. **Государственные** стандарты СССР. Сб. Сварка, пайка и термическая резка металлов. Часть I, II, III, IV. М., Издательство стандартов, 1976—1978. ч. I. 267 с.; ч. II. 411 с.; ч. III. 179 с.; ч. IV. 416 с.
5. **Действующие** стандарты, используемые в сварочном производстве/Е. Д. Лонский и др. Справочник по сварке, т. III. Машиностроение, 1970, с. 481—504.
6. **Евсеев Г. Б., Глизманенко Д. Л.** Оборудование и технология газопламенной обработки металлов и неметаллических материалов. М., Машиностроение, 1974. 312 с.
7. **Ерошев В. К.** Металлокерамические вакуум-плотные конструкции. М., Энергия, 1970. 160 с.
8. **Каховский Н. И., Фартушный В. Г., Ющенко К. А.** Электродуговая сварка сталей. Киев, Наукова думка, 1975. 480 с.
9. **Ланская К. А.** Высокохромистые жаропрочные стали. М., Металлургия, 1976. 216 с.
10. **Лоцманов С. Н., Петрунин И. Е., Фролов В. П.** Справочник по пайке. М., Машиностроение, 1975. 407 с.
11. **Технология** электрической сварки металлов и сплавов плавлением/Б. Е. Патон и др. М., Машиностроение, 1974. 760 с.
12. **Государственные** стандарты СССР. Указатель, 1979, т. I, II, III. М., Издательство стандартов, 1979, т. I. 405 с.; т. II. 488 с.; т. III. 351 с.
13. **Государственные** стандарты СССР. Информационные указатели № 1—4. М., Издательство стандартов, 1979, № 1. 205 с.; № 2. 191 с.; № 3. 219 с.; № 4. 175 с.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Автоматы для вибродуговой наплавки Применение 146
— — консольного типа для дуговой сварки в защитных газах — Техническая характеристика 114
— — переносные для сварки неповоротных стыков труб в монтажных условиях — Техническая характеристика 110
— — тракторного и кареточного типа для дуговой сварки в защитных газах — Техническая характеристика 114, 115
Автоматы универсальные дуговые — Общие положения выбора основных параметров 32, 33
— Характеристика реально-возможных возмущений 17, 18
Агрегат АСУМ-400 — Техническая характеристика 72
Анализаторы структурные ультразвуковые 412
Анализ качества сварных соединений — Физические и статистические модели 450
— — регрессионный 455
Аппаратура машин для сварки постоянным током — Вентили силовые 227 — Шкафы управления 227—229
— — гидравлическая в оборудовании для контактной сварки 169—171
— — пневматическая в оборудовании для контактной сварки 171
Аппаратура управления конденсаторных машин 223—226
— — оборудования для контактной сварки — Назначение 204, 205
Аппараты для автоматической сварки и наплавки — Применение 156, 157 — Техническая характеристика 157
— — дуговой автоматической сварки — Классификация 107—115 — Основные требования к конструкции 107
— — плазменно-дуговой резки — Техническая характеристика 300, 301
— — полуавтоматической сварки и наплавки — Применение 156 — Техническая характеристика 157
Аппараты общего применения для автоматической наплавки — Применение 141 — Техническая характеристика 143
— — сварки — Применение 140 — Техническая характеристика 142
Аппараты подвесные для дуговой автоматической сварки в защитных газах — Техническая характеристика 112
— — рентгеновские — Техническая характеристика 386—383 — Толщина просвечиваемого металла 389
Аппараты специализированные для автоматической наплавки — Применение 144 — Техническая характеристика 142
— — сварки — Применение 140, 141 — Техническая характеристика 142

Б

Баллоны для растворенного ацетилена 275
Бетатроны — Техническая характеристика 391 — Толщина просвечиваемого металла 389
Блок поджигания — Применение 222 — Принципиальная электрическая схема 222, 223
— — регулирования прерывателя — Применение 219 — Принципиальная электрическая схема 219—222
Бумаги вероятностные (или сетки) 452

В

Вентили баллонные 275, 276
Вероятность доверительная 453
— — заданного отклонения 451

Волноводы 244, 245
Выпрямители для механизированной импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом — Принципиальная электрическая схема 84, 85 — Характеристика 83, 84
— — для плазменно-дуговой резки — Основные параметры 303
— — многопостовые для механизированной сварки плавящимся электродом в среде углекислого газа — Техническая характеристика 80
— — однопостовые сварочные с падающими внешними характеристиками 57—59
Выпрямители сварочные с жесткими внешними характеристиками 59—63
— — с падающими внешними характеристиками 57
— — универсальные — Техническая характеристика 63 — Точность стабилизации выходных параметров 64 — Условия работы 63

Г

Гамма-дефектоскопы — Источники излучения 391
— Техническая характеристика 391
— Тип 389
— Толщина просвечиваемого металла 389
Гейна реактив 439
Генератор ГД-502 — Техническая характеристика 72
— — ГСО-300 двухполюсной — Принципиальная электрическая схема 69—70
Генераторы ацетиленовые — Классификация 271—273 — Техническая характеристика 273
— — вентильные сварочные — Принципиальная электрическая схема 74—76
— — сварочные однопостовые 67—74
Головки электродные для шовной сварки — Конструкция 192—194
Горелки — Классификация 278, 279 — Применение 279—282
Горелки для ручной дуговой сварки неплавящимся электродом в среде защитных газов — Техническая характеристика 99
— — сварочные — Классификация 97, 98 — Конструкция 95 — Основные требования 95 — Техническая характеристика 99
Горелки стандартные для автоматической дуговой сварки неплавящимся электродом в среде защитных газов — Техническая характеристика 102
— — плавящимся электродом в среде защитных газов — Техническая характеристика 103
Горелки унифицированные для дуговой полуавтоматической сварки плавящимся электродом в среде защитных газов — Техническая характеристика 100
ГОСТы используемые в сварочном производстве 470—503

Д

Дефектоскопия радиационная — Характеристика линейных ускорителей 392
— — сварных соединений капиллярная — Технологические процессы 437
Дефектоскопы магнитографические — Техническая характеристика 428
— — магнитопорошковые — Техническая характеристика 427
— — ультразвуковые 411—413
Дефекты продукции — Классификация 365, 366, 419
— Наименование 366—368
— Обозначение 366—368
— Основные конструктивно-эксплуатационные факторы опасности их возникновения 369
— Оценка размеров по эквивалентной площади 417, 418
— Характерные размеры в направлении просвечивания 401
Доза излучения поглощенная — Мощность 381 — Понятие 381
— — экспозиционная 381, 389
Достоверность контроля — Вероятностная оценка 464—467
— Интервальная оценка 466, 467
— Исходный метод 464
— Точечная оценка 464, 465
— Физическая структура 467
Дуга сварочная — График распределения потенциалов по длине дуги 45
— Общие сведения 42, 43
— Особенности горения дуги переменного тока 46, 47
— Статические вольт-амперные характеристики дуги 45, 46
— Физические явления 43—45

И

Излучение ионизирующее 380
— — корпускулярное 380
— — моноэнергетическое 381
— — направленное 381
— — немоноэнергетическое 381
— — рентгеновское 380
— — тормозное 380
— — фотонное 380
Искатели — Включение 407, 408
— Классификация 408
— Параметры 410
— Размеры 410
— Схема расчета поля 409
Источник питания АП-5М — Функциональная блок-схема 83
— — ТИР-300Д универсальный для дуговой сварки изделий неплавящимся электродом в среде аргона постоянным или переменным током прямоугольной формы, а также для ручной сварки штучными электродами с покрытием — Внешние характеристики 93
Источники питания — Единая структура обозначения электросварочного оборудования 51, 52 — Режим работы 50, 51
Источники питания для плазменно-дуговой резки 302—305
— — переменного тока — Общие сведения 57
— — специализированные — Общие сведения 80
Источники питания постоянного тока — Общие сведения 57
— — специализированные с унифицированными блоками для дуговой сварки, резки и плазменного напыления — Назначение 85 — Функциональные блок-схемы 85—93
Источники питания серии ВПН — Техническая характеристика 92 — Функциональная блок-схема 92
— — ВПР — Техническая характеристика 92 — Функциональная блок-схема 92
— — ВСВ — Техническая характеристика 90 — Функциональная блок-схема 89
— — ВСВУ — Техническая характеристика 88 — Функциональная блок-схема 86
— — ВСП — Техническая характеристика 91 — Функциональная блок-схема 91

К

Карты контрольные для улучшения и коррекции технологии 458
Качество исходных материалов 377, 378
— — продукции — Внешний осмотр 379 — Контроль 363, 364 — Показатели 363 — Понятие 363 — Управление 363 — Факторы 364
— — сварки — Показатели 456, 457
— — сварочных работ в отрасли — Пример заполнения первичной формы учета 458 — Пример заполнения формы КСР-1 459 — Пример заполнения формы КСР-2 460
Керосинорезы — Эксплуатационные характеристики 284
Клещи со встроенным трансформатором — Конструкция 185 — Техническая характеристика 186
— — с пневматическим приводом для машин с подвесным трансформатором 182, 183
Комплекты резательного оборудования — Основные параметры 297
Контакторы тиристорные — Применение 208 — Техническая характеристика 209
Контроль выборочный — Доверительность оценки 463 — Оценка по альтернативному признаку 462, 463 — Оценка по количественному признаку 461, 462 — Существующий порядок 461
— — индукционный 432
— — магнитографический 427—429
— — магнитопорошковый 424—427
— — ультразвуковой — Надежность 422 — Определение размеров, конфигурации и ориентации выявленных дефектов 418—420 — Оценка качества сварного соединения 420 — Подготовка 415, 416
— — феррозондовый 429—431
Корреляция — Коэффициент 455 — Зависимость 455 — Понятие 454
Кохрена критерий 452
Коэффициенты качества регулирования параметров сварного шва — Знак 28
— определение 28
— Размерность 28
— Расчетные выражения 28—31
— Физический смысл 28
Ксерорадиография — Понятие 392, 393

Л

Линии поточные — Виды 154 — Состав 154
— — сборочно-сварочные автоматические 154, 155

М

Материалы дефектоскопические 436
— — для катодных вставок — Характеристика 298
Машины газорезательные переносные 294, 295
— — для прямолинейной раскройной кислородной резки 288
— — для раскройной плазменно-дуговой резки 292, 293
Машины для сварки плоских арматурных каркасов — Техническая характеристика 189
— — рельефной — Конструкция 189, 190 — Техническая характеристика 190
— — трением — Конструкция 242, 243 — Техническая характеристика 242
Машины для стыковой сварки оплавлением — Конструкция 200—203 — Техническая характеристика 202
— — сопротивлением — Конструкция 201 — Техническая характеристика 201
Машины для точечной сварки, выпускаемые серийно — Техническая характеристика 178
— — и шовной ультразвуковой сварки металлов — Применение 245, 247 — Техническая характеристика 246
Машины для фигурной кислородной резки 288
— — с фотоэлектрическим управлением 292, 293
Машины для холодной сварки — Применение 231
Машины для шовной сварки — Конструкция 196
— Применение 192
— Техническая характеристика 197, 198
Машины конденсаторные для рельефной сварки корпусов полупроводниковых приборов — Конструкция 190, 191 — Техническая характеристика 192
— — для сварки деталей малых толщин — Типовая электрическая схема 223
Машины конденсаторные для точечной сварки малой мощности 181
— — мощные — Техническая характеристика 180
Машины однофазные для точечной сварки с радиальным ходом верхнего электрода — Техническая характеристика 175
— — для шовной сварки — Конструкция 195, 196 — Применение 195— Техническая характеристика 195
— — переменного тока для точечной сварки — Техническая характеристика 176
Машины подвесные для рельефной сварки новой серии — Техническая характеристика 184
— — сварочные ультразвуковые — Конструкция 243, 244
— — с магнитным контурным управлением шарнирного типа 288, 291
— — с программным управлением 292
— — стационарные для кислородной резки — Классификация 288
— — с фотоэлектрической системой управления 292
— — универсальные для стыковой сварки — Применение 204 — Техническая характеристика 204
Методика расчета основных параметров дуговых автоматов типа АРДС — Задачи расчета 35 — Основные этапы расчета 36—38
— — АРНД — Задачи расчета 38 — Основные этапы расчета 38—40
— — МРДП — Задачи расчета 33, 34 — Основные этапы расчета 34, 35
Метод вихревых токов 432, 433
Метод регистрации излучений ионизационный 383
— — сцинтилляционный 382
— — фотографический 382
Методы контроля акустические — Классификация 403 — Образцы 412
— — гаммаграфические 383, 385
— — герметичности 445, 446
— — капиллярные 434—438
— — металлографические 438, 439
— — неразрушающие 372—377, 443—445
— — радиационные — Классификация — 383 — Области применения 398, 399
— — радиографический — Параметры 389
— — радиометрические — Понятие 397, 398
— — радиоскопический — Показатели пленки 392 — Понятие 393, 394
— — разрушающие 372
— — рентгенографические 383, 384
Методы спектрального анализа металла шва 443
Механизмы осадки 199, 200

Н

Нормы допустимости дефектов — Вероятностное обоснование 467, 468
— Анализ существующих норм 467
— Модель расчета 467, 468
— Шкалы дефектности сварных соединений 468, 469

О

Оборудование для воздушно-дуговой резки 305—308
— — диффузионной сварки — Конструкции 249, 251 — Техническая характеристика 250
— — дуговой сварки в среде защитных газов — Классификация 94, 95
Оборудование для контактной сварки — Классификация 162—164
— Общие сведения 162
— Основные требования 164
— Функциональные схемы 162
— Электрические характеристики 165, 166
Оборудование для микроплазменной сварки — Применение — 251 — Режимы работы 251, 252 — Техническая характеристика 252
— — пайки 331, 332
— — плазменно-дуговой резки 296—301
Оборудование для сварки внахлестку — Конструкция 235—237
— — и наплавки без внешней защиты дуги и под флюсом — Классификация 127, 128 — Основные сведения 126, 127
— — пластмасс — Применение 248 — Техническая характеристика 249
— — стыковой — Конструкция 231, 232, 235 — Техническая характеристика 233, 234
— — трением — Конструкция 237—241 — Техническая характеристика 241
Оборудование для транспортировки, хранения и газификации жидкого кислорода — Применение 271
Оборудование для электронно-лучевой сварки — Классификация 253, 254
— Общие сведения 253
— Электромеханический комплекс 259 — 269
— Энергетический комплекс 253, 255, 256, 259
Оборудование для электрошлаковой сварки и наплавки — Классификация 156
Операторы — Проверка квалификации 378
Оценка генеральных характеристик — Понятие 453 — Интегральная 453 — Точечная 453

П

Пайка алюминия и его сплавов 350—352
— — коррозионно-стойких, жаропрочных сталей и сплавов 340—346
— — меди и ее сплавов 355—357
— — низколегированных конструкционных сталей 338—340
Пайка — Общие вопросы технологии 333—338
— Схема выбора технологического процесса 334
Пайка титана и его сплавов 346—350
— — тугоплавких металлов 352—355
— — углеродистых сталей 338—340
Пистолеты для многоэлектродных машин — Конструкция 187 — Размеры 188
— — со встроенным трансформатором — Конструкция — 185 — Техническая характеристика 186
Полуавтоматы для сварки в защитных газах — Техническая характеристика 106, 107
Полуавтоматы шланговые — Классификация 103—105
— Основные требования 103
— Особенности конструкции 103
— — общего применения для сварки и наплавки — Компоновка 138, 139 — Применение 139 — Техническая характеристика 139
— — специализированные — Приме-

нение 139, 140 — Техническая характеристика 138—140
Преобразователи ПД-501 — Техническая характеристика 69
— — пьезоэлектрические 407
— — электроакустические 403
— — электромагнитоакустические 403
Прерыватели синхронные — Применение 216
— Схема 218
— Техническая характеристика 217
Приборы для измерения твердости металла сварных швов 441, 442
Припои — Классификация 315
— — ванадиевые 325
— — висмутовые 317
— — золотые 324, 325
— — индиевые 317
— — кадмиевые 326
— — магнитные 327
— — медные 320—323
— — никелевые 323, 324
— — оловянно-свинцовые 315—317
— — оловянные 326
— — палладиевые 324, 325
— — платиновые 324, 325
— — серебряные 317—320
— — содержащие германий 325
— — титановые 325
— — цинковые 326
— — циркониевые 325
Процесс сварки — Регулирование статистическое 458
Пуассона распределение 464

Р

Работоспособность сварных соединений — Влияние дефектов 369
Радиография нейтронная 391
Рампы перепускные 276
Распад радиоактивный 380
Распределение нормальное 451
— — общее 451
— — статистическое 447, 449
— — центрированное 451
— — эмпирическое 451—453
Регрессия линейная 455
Регуляторы времени — Принципиальная электрическая схема 211—216 — Техническая характеристика 212, 213
Регуляторы дуги автоматические с саморегулированием (АРДС) 9
— — дугового промежутка механические (МРДП) 9
— — напряжения дуги автоматические (АРНД) 9
— — цикла сварки 211
Редукторы газовые — Применение 276, 278 — Техническая характеристика 277
— — используемые при сварке в защитных газах — Техническая характеристика 118
Резаки вставные — Техническая характеристика 284, 285
— — инжекторные 295, 296
— — равного давления 295, 296
— — ручные воздушно-дуговые — — Техническая характеристика 306
— — специальные — Применение 285 — Техническая характеристика 286
— — универсальные — Эксплуатационные характеристики 283
Рукава для присоединения горелок и резаков 276

С

Сварка ручная дуговая — Приспособления защитные электросварщика 135—137 — Рабочее место электросварщика 128—131
Система источник—автомат — дуга — шов (И—А—Д—Ш) — Выбор оптимального варианта 31, 32
— Ошибки регулирования 9
— Оценка статических свойств 26—28
— Передаточные функции 19—24
— Статические ошибки 19—24
Системы откачные установок для электронно-лучевой сварки — Схемы 260, 261
— — сварочные многопостовые — Общие сведения 76, 77
Соединения сварные различного типа — Особенности контроля 420—422 — Оценка качества 401, 402
— — паяные — Конструирование 357—362
Состав ванн для химического обезжиривания 335
— — травления различных металлов и сплавов 335
Среды газовые для пайки 327, 331
Станки общего назначения наплавочные из унифицированных узлов — Техническая характеристика 145
Стьюдента критерий 452
Суспензии магнитные — Состав 425

Схемы структурные источник—автомат—дуга—шов (И—А—Д—Ш) — Коэффициенты передачи 12—16, 24—26 — Передаточные функции 12—16 — Постоянные времени 12—16
— — универсальных дуговых автоматов АРДС, АРНД, МРДП 10—18
Схемы типовые просвечивания сварных соединений 399—401

Т

Тепловизоры — Понятие 444, 445 — Техническая характеристика 444
Технология сварки — Контроль 378
Тракторы общего применения для автоматической сварки однодуговые — Применение 144 — Техническая характеристика 143
— — специализированные для автоматической сварки — Применение 145 — Техническая характеристика 143
Трансформаторы для многоэлектродных машин — Конструкция 187 — Техническая характеристика 187
— — для ручной дуговой сварки — Техническая характеристика 52
— — понижающие в оборудовании для контактной сварки 166—168
— — типа ТДФ — Техническая характеристика 55

У

Установки для аргонодуговой сварки коррозионно-стойких сталей вольфрамовым электродом постоянным током — Техническая характеристика 82, 83 — Функциональная блок-схема 81, 82
Установки для дуговой автоматической сварки кольцевых швов в защитных газах — Техническая характеристика 120, 125
— — криволинейных швов в защитных газах — Техническая характеристика 121, 125
— — прямолинейных швов в защитных газах — Техническая характеристика 118
Установки для дуговой сварки в защитных газах — Классификация 117, 119 — Схема питания 115—117
Установки для плазменной сварки коррозионно-стойких сталей вольфрамовым электродом постоянным током — Техническая характеристика 82, 83 — Функциональная блок-схема 81, 82
— — цветных и черных металлов — Техническая характеристика 81
— Толщина свариваемого металла 82
Установки для ручной резки — Техническая характеристика 286, 287
Установки для сварки в контролируемой атмосфере — Техническая характеристика 123—125
— — изделий из легких сплавов 55—57
— — круговых швов и наплавки поверхностей тел вращения специализированные — Применение 149—151 — Схемы 150—152
— — прямолинейных швов специализированные 147—149
— — швов сложной формы и наплавки сложных кромок и поверхностей 153, 154
— — электронно-лучевой — Техническая характеристика 158, 160, 264, 266—268
Установки многопозиционные для сварки круговых швов — Применение 152 — Схемы 152, 153
Установки многопостовые для механизированной сварки плавящимся электродом в углекислом газе 77—80
— — ручной дуговой сварки плавящимся электродом — Техническая характеристика 78 — Электрическая схема 77
Установки радиоскопические—Область применения 394 — Характеристики 395, 396
— — специализированные для электронно-лучевой наплавки 158—160
Устройства вспомогательные источников питания для плавного снижения сварочного тока в конце сварки 49, 50
— Импульсный стабилизатор горения дуги переменного тока 49
— Осцилляторы 48—49
Устройства зажимные в машинах для стыковой сварки 198, 199
— — предохранительные — Применение 274
— Затворы 274
— Клапаны 274
Уровень дефектности 371, 372
— — чувствительности условный 434, 435

Ф

Факторы технологические, определяющие свойства паяных соединений 312

Феррозонд 429
Флюсы для пайки 327—330
Фотон — Понятие 380

Х

Характеристики некоторых сред акустические 404
— — оперативные эффективности плана контроля 462
— — числовые 449

Ч

Чувствительность неразрушающего контроля предельная — Понятие 373
— — реальная — Понятие 373
— — условная — Понятие 377

Э

Электродвигатели постоянного тока типа КПА и КПК — Техническая характеристика 105
Электрододержатели вилочного типа 131
— — для огарковой сварки 131, 132
— — для трехфазной сварки 132, 133
— — для угольных электродов 135
— — ЭД пассатижного типа 133, 134 — — Техническая характеристика 133
— — ЭДС защелочного типа 134
— — винтового типа 134
— — ЭР с рычажным зажимом 134
Энергия излучения эффективная 381 — Поглощение 381

ИБ № 82

Феликс Аронович АКСЕЛЬРОД, Лев Емельянович АЛЕКИН, Ольга Николаевна БРАТКОВА и др

СВАРКА В МАШИНОСТРОЕНИИ

Том 4

Редактор *И. И. Лесниченко*
Художественный редактор *П. П. Рогачев*
Технический редактор *Л. Т. Зубко*
Корректор *Н. И. Шарунина, И. М. Сергеева*
Переплет художника *А. Я. Михайлова*

Сдано в набор 06.02.79. Подписано в печать 24.08.79. Т-13251.
Формат 60×90¹/₁₆. Бумага типографская № 1. Гарнитура литературная.
Печать высокая. Усл. печ. л. 32,0. Уч.-изд. л. 45,5. Тираж 40 000 экз.
Заказ 1270. Цена 2 р. 70 к.

Издательство «Машиностроение», 107885, Москва, ГСП-6,
1-й Басманный пер., 3

Ленинградская типография № 6 Ленинградского производственного объединения «Техническая книга» Союзполиграфпрома
при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
193144, Ленинград, С-144, ул. Моисеенко, 10