И. С. КАМЕНИЧНЫЙ

КРАТКИЙ СПРАВОЧНИК ТЕХНОЛОГА-ТЕРМИСТА

МАШГИЗ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
Москва 1963 *Киев*

В справочнике приведены химический состав, физико-механические свойства черных и цветных металлов различных марок, а также различных сплавов. Рассмотрены режимы н технологические процессы термической и хнмико-термической обработки деталей и инструмента. Описано оборудование термических цехов, даны методика подбора, расчета и расстановки оборудования.

Справочник предназначен для технологов и мастеров термических цехов и отделений промышленных предприятий и может быть полезным для студентов втузов.

Рецензенты инж. *К. И. Калинович*,
инж. *А. Е. Рудковский*

Редактор инж. *Л. Г. Чистякова*

ЮЖНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ МАШГИЗА

Главный редактор инж. *В. К. Сердюк*

ПРЕДИСЛОВИЕ

Программа КПСС, принятая XXII съездом партии, предусматривает дальнейшее всемерное развитие таких конструкций машин, которые, обеспечивая высокие технические свойства, приведут к экономии сырья и энергии, повышению производительности труда. Особое значение, в настоящее время, приобретают машины, работающие в условиях высоких давлений, температур и скоростей.

Детали таких машин должны обладать высокими механическими свойствами, определяемыми техническими и эксплуатационными условиями. А, как известно, эти свойства в значительной степени зависят от термической обработки, применяемой на различных стадиях производства деталей машин.

Настоящий справочник и посвящен вопросам термической обработки металлов. В основу его положен опыт работы термических цехов или участков машиностроительных и приборостроительных заводов, где, как правило, обрабатываются различные металлы.

Автор, учитывая разнообразие работы технолога-термиста на машиностроительных заводах, приводит в справочнике химический состав и режимы термической обработки всех видов металлов, выпускаемых отечественной промышленностью, включая и специальные сплавы. Учтены также новые госты, вступившие в действие на 1/VII 1962 г.

При составлении справочника автором использованы данные по термической обработке металлов, опубликованные в литературе, материалы заводов и научно-исследовательских институтов, а также собственный опыт работы.

Глава I

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1. Механические величины

Обозначение и формула	Наименование величиины	Размерность
$\sigma_{пц} = \frac{P^*_{пц}}{F_0}$	Предел пропорциональностн	$кГ/мм^2$
$\sigma_{0,05} = \frac{P_{0,05}}{F_0}$	Предел упругости	»
$\sigma_T = \frac{P_T}{F_0}$	Предел текучести	»
$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0}$	Условный предел текучести при удлинении образца на 0,2%	»
$\sigma_в = \frac{P_в}{F_0}$	Временное сопротивление	»
$\delta = \frac{l_к - l_0^*}{l_0}$	Относительное удлиненне	%
$\psi = \frac{F_0 - F_к}{F_0}$	Относительное сужение	»
$\sigma_{сж} = \frac{P_{сж}}{F_0}$	Предел прочности при сжатии	$кГ/мм^2$
$\sigma_{в.\,и}$	Предел прочности при изгибе	»
$\sigma_{в.\,ср} = \frac{P_{ср}}{F_0}$	Предел прочности при срезе	»
$\sigma_w = \frac{P_{изг}}{F_0}$	Предел выносливости	»
$\sigma_{пл} = \frac{P_{пл}}{F_0}$	Предел ползучести	»

Продолжение

Обозначение и формула	Наименование величины	Размерность
$a_к = \frac{A_к}{F_0}$	Удельная ударная вязкость	*кГ · м/см²*
$HB = \frac{P^*}{F_{сф}}$	Твердость по Бринелю	*кГ/мм²*
HR	Твердость по Роквелу	—
RC	шкала С	—
RB	шкала В	—
RA	шкала А	—
HV	Твердость по Викерсу	*кГ/мм²*
HS	Твердость по Шору	—
H_{100}**	Микротвердость	*кГ/мм²*
E	Модуль упругости	»
α	Коэффициент линейного расширения	*мм/мм · град*

* *P* — нагрузка, зарегистрированная для данного определения; F_0 — площадь для поперечного сечения до испытания; l_0 — расчетная длина образца; $l_к$ — длина образца после испытания; $F_{сф}$ — площадь сферического отпечатка.

** Индекс указывает, какая применена нагрузка в *г*.

2. Тепловые величины

c	Теплоемкость удельная	*ккал/кГ · град*
Q	Теплотворная способность	*ккал/кГ*
λ	Коэффициент теплопроводности	*ккал/м · ч · град*
α	Коэффициент температуропроводности	*м²/ч*

3. Электрические и магнитные величины

i	Сила тока	*а*
Q	Количество электричества	*к*
U	Напряжение	*в*
R	Сопротивление	*ом*
Q_0	Удельное сопротивление	*ом · мм²/м*
V	Удельная проводимость	*м/ом · мм²*
f	Частота	*гц*
P	Мощность	*квт*
A	Работа	*квт · ч*
H	Напряженность магнитного поля	*а/см*
μ	Магнитная проницаемость	*ом · сек/см*
R_m	Магнитное сопротивление	*1/ом · сек*
Hc	Коэрцитивная сила	*э*

4. Связь между единицами измерений

Единицы длины 1 *м* = 10^2 *см* = 10^3 *мм* = 10^6 *мк* = 10^{10} Å = 39,4 *дм* = = 3,28 *ф*.

Единицы площади 1 $м^2$ = 10^2 $дм^2$ = 10^4 $см^2$ = 10^6 $мм^2$ = $1{,}55 \cdot 10^3$ $дм^2$ = = 10,76 $ф^2$.

Единицы работы 1 *кГ* · *м* = 9,81 *дж* = 2,343 *кал* = $2{,}724 \cdot 10^{-6}$ *квт·ч*.

Единицы мощности 1 *кГ·м/сек* = $9{,}91 \cdot 10^{-3}$ *квт* = $13{,}33 \cdot 10^{-3}$ *л. с.* = = 8,435 *ккал/ч* = $98{,}1 \cdot 10^6$ *эрг/сек*.

Единицы давления 1 *ат* = 1 $кГ/см^2$ = 10 *м вод. ст.* = 736 *мм рт. ст.*

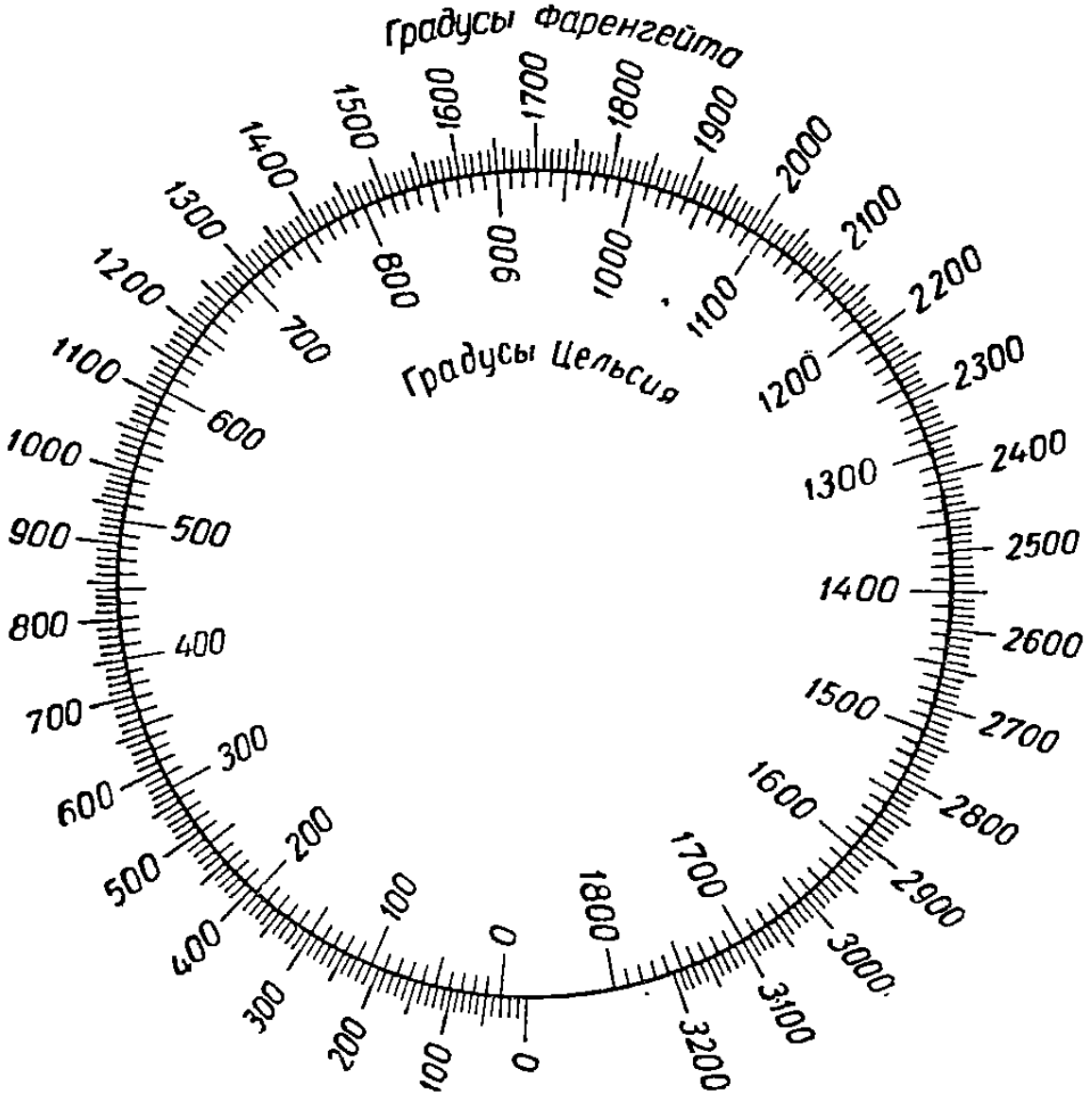
Единицы теплоемкости (весовой) 1 *ккал/кг* °С = 4187 *дж* (*кг* = =$41{,}87 \cdot 10^6$ *эрг/г*°С.

Единицы теплопроводности 1 $ккал/м \cdot ч$°С = $1{,}163 \cdot 10^{-3}$ $квт/м$°С.

Коэффициент теплоотдачи 1 $ккал/м^2 \cdot ч$°С = $1{,}16 \cdot 10^{-3}$ $квт/м^2$ °С = = $1{,}16 \cdot 10^3$ $эрг/см^2 \cdot сек$°С.

В табл. 1—6 приведены данные о физико-химических свойствах веществ.

На фиг. 1 приведен перевод градусов шкалы Цельсия на шкалу Фаренгейта.



Фиг. 1. Шкала перевода градусов шкалы Цельсия на градусы Фаренгейта.

Таблица 1

Физико-химические константы некоторых элементов-металлов

Наименование	Формула	Атомный вес	Плотность в $т/м^3$	Температура плавления в °С	Теплоемкость при 20°С в *ккал/кг град*	Коэффициент теплопроводности при 20°С в *ккал/м.ч* × × *град*	Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$ в *мм/мм · град*	Удельное электросопротивление в *ом · мм²/м*	$\sigma_в$ в *кГ/мм²*
Алюминий	Al	26,97	2,7	660	0,21	175	24	0,0269	8—11
Ваиадий	V	50,95	5,96	1710	0,11	—	—	0,26	—
Вольфрам	W	183,92	19,3	3370	0,032	137	4	0,0601	120÷140
Железо	Fe	55,85	7,86	1535	0,108	50,5	11,9	0,09065	25÷33
Кобальт	Co	58,94	8,9	1492	0,108	58	12,5	0,104	24
Кремний	Si	28,06	2,4	1420	0,17	72	6,95	10^3	—
Магний	Mg	24,32	1,74	651	0,24	132	27,3	0,047	17—20
Марганец	Mn	54,93	7,4	1260	0,12	—	23	0,044	50
Медь	Cu	63,57	8,92	1083	0,092	330	16,5	0,017	22
Молибден	Mo	95,95	10,2	2625	0,059	124	5,1	0,0478	70
Никель	Ni	58,69	8,9	1453	0,107	11,5	13,5	0,13	40÷50
Ниобий	Nb	92,91	8,4	2415	0,0645	—	7,2	0,187	35
Олово	Sn	118,70	7,31	232	0,054	56,5	21	0,124	2—4
Свинец	Pb	207,21	11,34	327,3	0,03	30,3	29,5	0,20	1,8
Титан	Ti	47,90	4,50	1660	1,141	—	7,1	0,90	60
Углерод (графит)	C	12,91	2,26	3700	0,165	20,5	7,9	13,75	—
Хром	Cr	52,01	7,1	1615	0,105	59,5	8,1	0,026	—
Цинк	Zn	65,38	7,14	419,4	0,092	96,5	30	0,0623	11—15
Висмут	Bi	209,00	9,83	271,3	0,029	6,5	13,45	1,068	—
Серебро	Ag	107,88	10,49	960,5	0,056	350	18,9	0,0159	28÷29
Платина	Pt	195,23	21,45	1773,5	0,0315	60	8,9	0,0983	24—34

Физические параметры твердых тел

Наименование	Формула	Температура плавления в °С	Плотность* в *кГ/м³*	Теплоемкость весовая в *ккал/кГ · град*	Коэффициент теплопроводности в *ккал/м · ч · град*	Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$ в *мм/мм · град*	Временное сопротивление $\sigma_в$ в *кГ/мм²*	Модуль упругости E в *кГ/мм²*
Асбест	—	1480—1510	2100—2800	—	—	—	—	—
Асбестовый картон	—	—	1200	0,195	0,10	—	—	—
Барий	—	704	3500	0,07	—	—	—	—
Барий хлористый	—	962	3860	—	—	—	—	—
Бронза алюминиевая	—	—	7700	0,09	68	17,8	30—50	12000
Бронза оловянная	—	—	8800	0,09	41	18,5	20—35	11600
Бронза фосфористая	—	950—970	8800	0,09	42	17	20—35	10300
Бура (безводная)	—	711	2370	—	—	—	—	—
Глина сухая	—	—	1520	0,224	—	—	—	—
Глина огнеупорная	—	—	—	0,26	0,89	—	—	—
Гравий сухой	—	—	1800	0,20	0,31	—	—	—
Графит	C	3500	2250	0,174	4,3	8	—	—

Наименование	Формула	Температура плавления в °С	Плотность* в кГ/м³	Теплоемкость весовая в ккал/кГ·град	Коэффициент теплопроводности в ккал/м·ч·град	Коэффициент линейного расширения α·10⁶ в мм/мм·град	Временное сопротивление $\sigma_в$ в кГ/мм²	Модуль упругости E в кГ/мм²
Дерево сухое:								
Береза	—	—	510—770	0,4	—	—	7	$1{,}5 \cdot 10^3$
Дуб	—	—	700—1000	0,4	0,22	54—5**	8	$1{,}6 \cdot 10^3$
Сосна	—	—	310—780	0,4	0,145	34—5**	5	$0{,}9 \cdot 10^3$
Дюралюминий	—	—	2600—2800	0,3	140	22	46***	7100
Калий	K	62	860	0,19	83	80	*НВ* 0,04	—
Калий едкий	KOH	360	2040	—	—	—	—	—
Калий цианистый	KCN	634	1520	—	—	—	—	—
Кальций	Ca	850	1550	0,15	—	—	*НВ* 30—42	—
Карбид кальция	CaC_2	2300	2220	—	—	—	—	—
Карбид вольфрама	WC	2777	15700	—	60	—	—	—
Карбид железа	Fe_3C	—	7400	0,143	6,1	12,5	—	—
Карбид кремния	SiC	>2700	3170	—	—	—	—	—
Кокс в кусках	—	—	1400	0,203	—	—	—	—
Кокс толченый	—	—	—	0,29	0,164	—	—	—
Корунд	Al_2O_3	2050	3900	—	—	—	23	—
Кровяная соль желтая	$K_4Fe(CN)_6$	1950	—	—	—	—	—	—
Кровяная соль красная	$K_3Fe(CN)_6$	—	1850	—	—	—	—	—
Латунь	—	880—910	8500	0,090	94	20,1	20—42	—

Продолжение табл. 2

Наименование	Формула	Температура плавления в °С	Плотность* в кГ/м³	Теплоемкость весовая в ккал/кГ·град	Коэффициент теплопроводности в ккал/м·ч·град	Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$ в мм/мм·град	Временное сопротивление $\sigma_в$ в кГ/мм²	Модуль упругости E в кГ/мм²
Мел	$CaCO_3$	—	—	0,21	0,8	—	—	—
Мрамор	$CaCO_3$	—	2520—2850	0,10	1,12	14	—	$2{,}6 \cdot 10^3$
Натрий	Na	97	970	0,283	112	70	—	—
Нейзильбер	—	1100	8500	—	21,6	18,4	35—45	12600—14000
Песок сухой	—	—	1200—1650	0,19	0,28	—	—	—
Селитра натриевая	$NaNO_3$	317	1800	0,42	0,30	—	—	—
Селитра калиевая	KNO_3	337	1780	0,32	—	—	—	—
Сода кальцинированная	Na_2CO_3	851	2530	—	—	—	—	—
Сода каустическая	NaOH	322	1720	0,40	0,35	—	—	—
Соль поваренная	NaCl	801	2160	—	—	—	—	—
Снег	H_2O	0	—	0,5	0,40	—	—	—
Стекло	—	—	2400—3900	0,16	0,64	9	70	$7{,}2 \cdot 10^3$
Твердый сплав типа ВК	ВК	—	14000—15000	—	60	—	*HRA* 86—90	—
Твердый сплав типа ТК	ТК	—	6500—13000	—	27	—	*HRA* 88,5—90	—
Чугун серый	—	—	6700—7600	0,120	44	10,0÷11,4	10—12	7500—8500
Чугун ковкий	—	—	6700—7600	0,120	44	10,0÷11,4	20	10500

* Плотности, теплоемкости, коэффициенты термического расширения, прочностные характеристики даны при комнатной температуре.
** Первая цифра — линейное расширение происходит перпендикулярно к волокнам, вторая — параллельно.
*** Прочность для состаренного алюминия.

Таблица 3

Свойства жидких тел

Наименование	Формула	Плотность в *т/м*³	Теплоемкость в *ккал/кГ·град* при 20°С	Коэффициент теплопроводности в *ккал/м·ч·град*	Коэффициент объемного расширения $\beta \cdot 10^2$ в 1/*град*	Вязкость в *пуаз* при 20°С
Азотная кислота	HNO_3	1,5	0,65 (58,3%)*	—	0,091 (50%)	0,0177
Ацетон	CH_3COCH_3	0,79	0,52	15,5	0,148	0,0032
Бензин	—	0,7÷0,75	0,41	12	0,124	0,00649
Бензол	C_6H_6	0,88	0,41	12	0,124	0,0065
Масло машинное	—	0,9	—	—	—	—
Вода при 40°С	H_2O	1,0	1,0	46,5	0,035	0,01006
Глицерин	$CHOH(CH_2OH)_2$	1,26	0,58	24,2	0,051	8,3
Керосин	—	0,8—0,82	0,50	12,6	0,095	—
Серная кислота	H_2SO_4	1,84	0,39 (85%)	38 (60%)	0,055 (96%)	0,242 (концентрированная)
Соляная кислота	HCl	1,19	0,55 (25%)	41,5 (16,8%)	0,057	—

* В скобках указана концентрация раствора.

Таблица 4

Истинная теплоемкость металлов в *ккал/кГ·град*

Наименование	Температура в ° С								
	20	100	200	300	500	800	1000	1200	1500
Алюминий	0,214	0,224	0,235	0,241	0,26	—	—	—	—
Висмут	0,0295	0,0303	0,032	0,034	—	—	—	—	—
α-железо	0,108	0,116	0,127	0,139	0,162	—	—	—	—
β-железо	—	—	—	—	—	0,177	—	—	—
γ-железо	—	—	—	—	—	—	0,161	0,165	—
δ-железо	—	—	—	—	—	—	—	—	0,177
Ванадий	0,115	0,116	0,118	0,120	0,124	0,129	0,133	0,137	0,143
Вольфрам	0,032	0,025	0,033	0,0334	0,0344	0,0357	0,0367	0,0377	0,039
Магний	0,243	0,255	0,268	0,276	0,30	—	—	—	—
Марганец	0,114	0,120	0,127	0,134	0,148	—	—	—	—
Молибден	0,059	0,063	0,0664	0,069	0,0736	0,0799	0,0841	0,0881	0,0940
Медь	0,0922	0,0941	0,0964	0,0987	0,1037	0,1103	0,1149	—	—
α-никель	0,01072	0,1132	0,1240	0,1382	—	—	—	—	—
β-никель	—	—	—	—	0,1269	0,1376	0,1445	0,1515	—
Олово	0,0538	0,0566	0,0605	—	—	—	—	—	—
Свинец	0,0307	0,0315	0,0324	0,0340	—	—	—	—	—
Титан	0,141	0,146	0,152	0,158	0,170	—	—	—	—
Цинк	0,0926	0,0959	0,100	0,1041	—	—	—	—	—
Серебро	0,056	0,057	0,059	0,060	0,063	0,067	—	—	—
Платина	0,0315	0,0322	0,033	0,0336	0,0341	0,036	0,037	0,038	0,0405

Таблица 5

Средние теплоемкости сплавов в *ккал/кГ·град* от 0° С до различных температур

Наименование	Температура в °С							
	20	200	400	600	800	900	1000	1200
Углеродистые и низколегированные стали	0,110	0,118	0,128	0,139	0,164	0,164	0,163	0,162
Высоколегированные стали								
Р18	0,095	0,101	0,107	0,117	0,127	0,133	0,133	0,135
2Х13	0,112	0,117	0,126	0,141	0,155	0,157	0,157	0,157
Х15Н9	0,117	0,123	0,128	0,134	0,139	0,140	0,142	0,145
Г13	0,118	0,127	0,135	0,142	0,145	0,147	0,148	0,151
Чугун серый	0,130	—	—	—	—	—	—	—
Латунь Л62	—	—	0,099	0,104	—	—	—	—
Латунь Л70	—	—	0,0965	0,1	—	—	—	—

Таблица 6

Плотность и коэффициент теплопроводности металлов и сплавов

Наименование	Плотность в *кГ/м*³ при 20°С	Теплопроводность в *ккал/м·ч·град* при температуре в °С					
		20	200	400	600	800	1000
Железо	7880	66	56	46	36	26	24
Сталь 20	7860	62	50	40	32	24	24
Сталь 50	7850	56	48	39	30	22	22
Сталь 60, 65, 70	7800	58	45,7	31	26	—	—
Сталь 50Г, 40Х, 40ХС	7830	42	36	32	28	23	21
Сталь 30Г2	7849	39,7	38,3	34,2	29,5	22,7	—
Сталь 30ХМА	—	39,96	38,88	35,28	33,12	32,01	—
Сталь 30ХГС, 20ХН3А	7840	34	31	28	25	22	20
Сталь 40ХНМА	7850	39,8	38	34,1	32	28,4	—
Сталь 30ХН3М	7830	28	30	30	26	20	20
Сталь Х, ШХ15, 9ХС	7800	37	34	30	26	23	20
Сталь 1Х13	7750	23,7	23,7	22,6	—	—	—
Сталь 2Х13	7750	20,5	22,2	22,7	22,7	23,0	—
Сталь 3Х2В8	8200	20	20	20	20	20	22
Сталь Х18Н10Т	7900	13,8	15,1	17,9	20,5	23,7	—
Сталь 2Х18Н9	7920	13	15	17	19	22	24
Сталь 4Х18Н25С2	7800	10	10	12	15	18	20
Сталь Г13	7700	10	12	14	16	18	20
Сталь 41Х14Н4В2М	—	13,4	14,7	17,3	19,7	22,3	—
Серый чугун	7100	42	38	36	34	—	—
Алюминий	2700	174	197	278	364	—	—
Дюралюминий	2750	137	167	225	300	—	—
Силумин	2650	139	150	275	285	—	—
Медь	8940	337	327	315	307	—	—

Продолжение табл. 6

Нанменованне	Плотность в *кГ/м*³ прн 20°С	Теплопроводность в *ккал/м·ч·град* прн температуре в °С					
		20	200	400	600	800	1000
Латунь Л90	8730	88	115	143	168	—	—
Латунь Л62	8470	86	97	110	130	—	—
Бронза Бр. ОФ 6;5—0,15	8800	39	47	56	60	—	—
Бронза Бр. ОС 8—12	9100	41	45	54	62	—	—
Никель	8900	57	49	48	46	—	—
Нихром	8400	11	13	16	19	20	22
Монель-металл	8800	19	24	29	—	—	—
Магний	1740	120	118	113	—	—	—
Электрон	1800	100	115	120	—	—	—
Цинк	7140	96	88	80	—	—	—

Примечание. Теплопроводность углеродистой стали прн 0°С вычисляется по эмпнрической формуле: $\lambda_0 = 60 - 8{,}7C - 14{,}4\ Mn - 29{,}0\ Si$ *ккал/м·ч·град*, где C, Mn, Si — содержание углерода, марганца н кремния в %. Формула действительна для содержання углерода до 1,5%, марганца до 0,5%. Значення λ при разных температурах выражаются следующимн зависимостями: $\lambda_{200} = 0{,}95\lambda_0$; $\lambda_{400} = 0{,}85\ \lambda_0$; $\lambda_{600} = 0{,}75\ \lambda_0$; $\lambda_{800} = 0{,}68\ \lambda_0$; $\lambda_{1200} = 0{,}73\ \lambda_0$.

Глава II

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА МЕТАЛЛОВ

Формулы для подсчета величин при испытании механических свойств металла приведены в гл. I.

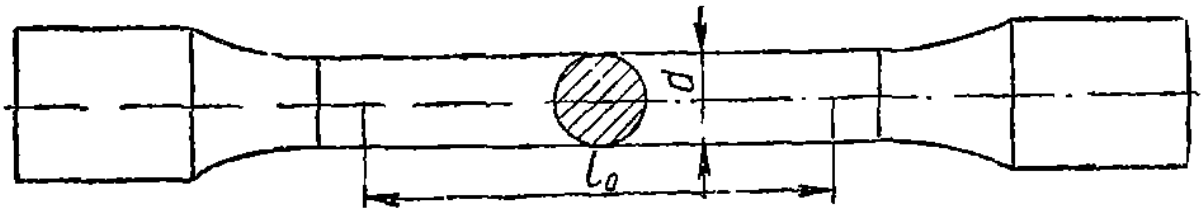
В табл. 7 приведены размеры образцов для испытания на растяжение, а на фиг. 2 и 3 — размеры образцов для испытания на разрыв и удар.

Таблица 7

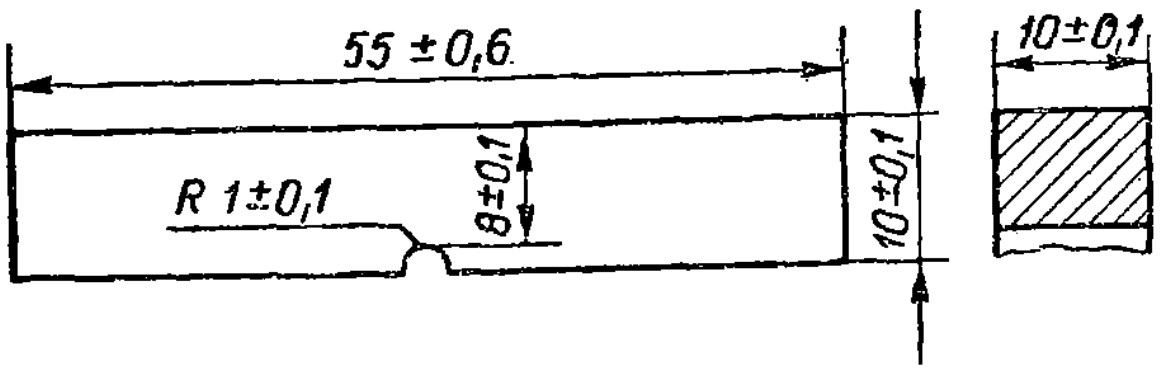
Размеры образцов для испытания на растяжение

Образцы		Расчетная длина l_0 в *мм*	Площадь поперечного сечения в *мм*	Диаметр d в *мм*	Символы для обозначения кратности образцов
Нормальный	Длинный	200	314	20	δ_{10}
	Короткий	100			δ_5
Пропорциональный	Длинный	$11{,}3\sqrt{F_0}$	Произвольный	Произвольный	δ_{10}
	Короткий	$5{,}65\sqrt{F_0}$			δ_5

Примечание. Образцы, изготовленные на станках, не должны иметь на цилиндрической части поверхности рисок (в особенности поперечных), подрезов в месте перехода к головкам и других дефектов поверхности.



Фиг. 2. Образец для испытания на растяжение.



Фиг. 3. Образец для определения ударной вязкости.

1. Испытание металлов на твердость

Измерение твердости по Бринелю (ГОСТ 9012-59) производится на приборах типа ТШ вдавливанием в испытуемый образец (изделие) стальных шариков (табл. 8).

Таблица 8

Толщина испытуемого изделия и продолжительность выдержки под нагрузкой при испытании по Бринелю (*НВ*)

Материалы	Твердость в *кГ/мм²*	Толщина испытуемого металла в *мм*	Диаметр шарика в *мм*	Нагрузка *Р* в *кГ*	Время выдержки под нагрузкой в *сек*
Черные металлы	150—450	Более 6	10	3000	10
		3—6	5	750	10
		Менее 3	2,5	187,5	10
	Менее 150	Более 6	10	1000	10
		3—6	5	250	10
		Менее 3	2,5	62,5	10
Медь, латунь, бронза, магниевые и алюминиевые сплавы	Более 35	Более 6	10	1000	30
		3—6	5	250	30
		Менее 3	2,5	62,5	30
Алюминий, подшипниковые сплавы	8—35	Более 6	10	250	60
		3—6	5	62,5	60
		Менее 3	2,5	15,6	60

Примечание. Нагрузка 62,5 и 15,5 *кГ* на приборе ТШ отсутствует. Испытание при этих нагрузках производится на приборе ТП; при этом надо сменить алмазную пирамиду на шарик диаметром 2,5 *мм*.

При получении отпечатка с незначительной овальностью твердость определяется как среднее из двух взаимно перпендикулярных диаметров.

Металл с твердостью выше *НВ* 450 проверять этим способом нельзя в связи с возможной деформацией шарика. Деформированный шарик внесет погрешность в результат испытаний.

В процессе испытаний необходимо периодически (примерно один раз в неделю) при помощи эталонной плитки проверять правильность показаний прибора. При систематической проверке улучшаемых деталей промежутки между испытаниями следует уменьшить.

Между числом твердости по Бринелю и пределом прочности существует зависимость

$$\sigma_в = KHB,$$

где K — коэффициент, значения которого приведены ниже:

Для чугуна	0,15
Для высокопрочных сталей	0,37
Для незакаленных сталей	0,36
Для аустенитных сталей	0,45
Для алюминиевых литейных сплавов	0,25
Для алюминиевых сплавов, обрабатываемых давлением	0,38
Для латуни	0,45

Измерение твердости по Роквелу (ГОСТ 9013-59) производится на специальных приборах типа ТК вдавливанием алмазного конуса или стального шарика в испытуемый образец-изделие (табл. 9).

Таблица 9

Условия испытания твердости по Роквелу (*HR*)

Металл	Примерная твердость по Бринелю	Наконечники	Нагрузка в *кГ*	Обозначение твердости по Роквелу	Рабочие пределы шкалы	Шкалы
Сталь отожженная, латунь, бронза, твердые алюминиевые и магниевые сплавы	60—230	Стальной шарик диаметром 1,59 *мм*	100	*HRB*	25—100	Красная
Закаленные сталь и чугун, отбеленный чугун	230—700	Алмазный конус	150	*HRC*	20—67	Черная
Тонкие пластины, цементованные и азотированные изделия, твердые сплавы	Свыше 700	То же	60	*HRA*	Свыше 67	»

Примечание. Для проверки изделий с твердостью не выше *HRC* 50 вместо алмазного наконечника можно пользоваться твердосплавным.

Диаметр круглых изделий при измерении твердости алмазным конусом должен быть не менее 15 *мм*. При необходимости проверки деталей меньших диаметров следует пользоваться поправочными таблицами (табл. 10 и 11).

Для измерения твердости тонких деталей, а также твердости поверхностных слоев металла применяют прибор «Супер-Роквел» (табл. 12, 13 и 14).

Проверка правильности показаний прибора типа ТК производится испытанием на твердость контрольных плиток в интервале твердостей *HRC* 65 ± 5; 45 ± 5; 25 ± 5 и *HRB* 85 ± 5.

Таблица 10

Поправки к числу твердости, измеренному на цилиндрической поверхности изделий на приборе ТК (по Роквелу)

Диаметр изделий в *мм*	Число твердости					
	58	59	60	61	62	63
	Поправки, которые нужно добавлять к полученной твердости					
6	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	—
7	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5	—
8	2,0	1,5	1,5	1,5	1,5	—
9	—	1,5	1,5	1,0	1,0	1,0
10	—	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
11	—	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
12	—	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5
13	—	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5
14	—	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5
15	—	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5

Таблица 11

Поправки к числу твердости, измереиному на шаровой поверхности изделий иа приборе ТК (по Роквелу) ОСТ 26075

Диаметр шарика в *мм*	Число твердости								
	56	57	58	59	60	61	62	63	64
	Поправки, которые нужно добавлять к полученной твердости								
До 4	5,5	5,5	5,0	5,0	4,5	4,5	—	—	—
4—6	4,5	4,5	4,0	4,0	3,5	3,5	3,5	—	—
6—8,5	4,0	3,5	3,5	3,0	3,0	3,0	2,5	—	—
8,5—11,5	—	3,0	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	1,5	—
11,5—15	—	—	2,0	1,5	1,5	1,0	1,0	1,0	0,5

Таблица 12

Шкалы Роквела, применяемые для измерения твердости тонколистовой стали

Толщина стали в *мм*	Шкалы	
	для термически обработанной стали	для термически необработанной стали
0,9 и более	A	B
0,65—0,9	C	45T
0,38—0,65	30N	30T
0,25—0,38	15N	15T

Примечание. Измерение твердости у стали тоньше 0,25 *мм* следует производить иа приборе типа ТП алмазной пирамидой или на приборе типа ПМТ, в зависимости от твердости изделия.

Таблица 13

Соответствие между числами твердости по Роквелу, определяемыми алмазным конусом при нагрузке 150 *кГ* (шкала С) и нагрузках 15, 30 и 45 *кГ*.

(шкала для поверхностной твердости)

Твердость *HRC*	Поверхностная твердость при нагрузках в *кГ*			Твердость *HRC*	Поверхностная твердость при нагрузках в *кГ*		
	15 N	30 N	45 N		15 N	30 N	45 N
68	93,2	84,4	75,4	43	82,0	62,2	46,7
67	92,9	83,6	74,2	42	81,5	61,3	45,5
66	92,5	82,8	73,3	41	80,9	60,4	44,3
65	92,2	81,9	72,0	40	80,4	59,5	43,1
64	91,8	81,1	71,0	39	79,9	58,6	41,9
63	91,4	80,1	69,9	38	79,4	57,7	40,8
62	91,1	79,3	68,8	37	78,8	56,8	39,6
61	90,7	78,4	67,7	36	78,3	55,9	38,4
60	90,2	77,5	66,6	35	77,7	55,0	37,2
59	89,8	76,6	65,5	34	77,2	54,2	36,1
58	89,3	75,7	64,3	33	76,6	53,3	34,9
57	88,9	74,8	63,2	32	76,1	52,1	33,7
56	88,3	73,9	62,0	31	75,6	51,3	32,5
55	87,9	73,0	60,9	30	75,0	50,4	31,3
54	87,4	72,0	59,8	29	74,5	49,5	30,1
53	86,9	71,2	58,6	28	73,9	48,6	28,9
52	86,4	70,2	57,4	27	73,3	47,7	27,8
51	85,9	69,4	56,1	26	72,8	46,8	26,7
50	85,5	68,5	55,0	25	72,2	45,9	25,5
49	85,0	67,6	53,8	24	71,6	45,0	24,3
48	84,5	66,7	52,5	23	71,0	44,0	23,1
47	83,9	65,8	51,4	22	70,5	43,2	22,0
46	83,5	64,8	50,3	21	69,9	42,3	20,7
45	83,0	64,0	49,0	20	69,4	41,5	19,6
44	82,5	63,1	47,8				

Следует учесть, что прибор, давая правильные показания в одном интервале твердостей, может иметь погрешность в других интервалах. Разброс твердости на каждой плитке не более ± 1 *HRC*.

Измерение твердости по Виккерсу (ГОСТ 2999-59) производится на специальных приборах типа ТП вдавливанием четырехгранной алмазной пирамиды в испытуемый образец (изделие) под действием одной из следующих нагрузок: 5, 10, 20, 30, 50, 100 *кГ* (табл. 15, 16, 17).

Класс чистоты поверхности испытуемого изделия должен быть не менее ▽ 10. Толщина образца должна быть не менее 1,5 диагонали отпечатка. Правильности показаний прибора периодически проверяются контрольными плитками.

Таблица 14

Соответствие между числами твердости по Роквелу, определяемыми стальным шариком при нагрузке 100 *кГ* (шкала B) и нагрузках 15, 30 и 45 *кГ* (шкала для поверхностной твердости)

Твердость *HRB*	Поверхностная твердость при нагрузках в *кГ*			Твердость *HRB*	Поверхностная твердость при нагрузках в *кГ*		
	15 T	30 T	45 T		15 T	30 T	45 T
100	93,0	83,0	73,0	75	85,5	67,5	49,0
99	92,5	82,5	72,0	74	85,0	66,5	48,5
98	92,5	82,5	71,0	73	85,0	66,0	47,5
97	92,0	81,0	70,0	72	84,5	65,5	46,5
96	92,0	80,5	69,0	71	84,0	65,0	45,5
95	91,5	80,0	68,0	70	84,0	64,0	44,5
94	91,0	79,0	67,0	69	83,5	63,5	43,5
93	91,0	78,5	66,0	68	83,5	63,0	42,5
92	90,5	78,0	65,0	67	83,0	62,0	42,0
91	90,0	77,0	64,0	66	83,0	61,5	41,0
90	90,0	76,5	63,0	65	82,5	61,0	40,0
89	89,5	76,0	62,0	64	82,0	60,5	39,0
88	89,5	75,0	61,0	63	82,0	60,5	38,0
87	89,0	74,5	60,0	62	81,5	59,0	37,0
86	89,0	74,0	59,5	61	81,0	58,5	36,0
85	88,5	73,5	58,5	59	81,0	58,0	35,0
84	88,0	73,0	57,5	58	80,5	57,0	33,0
83	88,0	72,0	56,5	57	80,0	56,0	32,5
82	87,5	71,5	55,5	56	80,0	55,5	31,5
81	87,0	71,0	54,5	55	79,5	55,0	30,5
80	87,0	70,5	53,5	54	79,0	54,5	29,5
79	86,5	70,0	52,5	53	79,0	53,5	28,5
78	86,5	69,0	52,0	52	78,5	53,0	28,0
77	86,0	68,5	51,0	49	77,5	51,0	25,0
76	86,0	68,0	50,0	48	77,5	50,5	24,0
—	—	—	—	47	77,0	50,0	23,0
—	—	—	—	45	76,5	49,0	21,0
—	—	—	—	42	75,5	47,0	18,0
—	—	—	—	40	75,0	46,0	16,0

Таблица 15

Рекомендуемые нагрузки при измерении твердости по Викерсу (*HV*)

Толщина образца в *мм*	Твердость			
	20—50	50—100	100—300	300—900
	Рекомендуемая нагрузка в *кГ*			
0,3—0,5	—	—	—	5—10
0,5—1,0	—	—	—	10—20
1,0—2,0	5—10	5—10	10—20	—
2,0—4,0	10—20	20—30	20—50	20—50
Свыше 4	20 и выше	30 и выше	50 и выше	—

Таблица 16

Рекомендуемые нагрузки при измереиии твердости труб и других тонкостениых изделий алмазиой пирамидой

Наружный диаметр изделия в *мм*	Толщина стенки изделия в *мм*							
	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	2,0	2,5	3,0
	Рекомендуемая нагрузка в *кГ*							
0—10	10	—	20	—	—	—	—	—
10—20	5	10	20	—	30	—	—	—
20—30	—	5	10	—	30	30	30	30
30—40	—	5	10	—	20	30	30	30
40—50	—	5	5	10	20	30	30	30
50—60	—	—	5	10	20	30	30	30
60—70	—	—	5	5	10	20	30	30
70—80	—	—	5	5	10	20	30	30

Таблица 17

Числа твердости при измерении по Викерсу

Диагональ отпечатка в *мм*	Нагруака в *кГ*			
	5	10	20	30
0,1	927	—	—	—
0,11	766	1533	—	—
0,12	644	1288	—	—
0,13	549	1097	—	—
0,14	473	946	—	—
0,15	412	824	1649	—
0,16	362	724	1449	—
0,17	321	642	1283	—
0,18	286	572	1145	—
0,19	257	514	1027	1541
0,20	232	464	927	1391
0,21	210	421	841	1261
0,22	192	383	766	1149
0,23	175	351	701	1052
0,24	161	322	644	966
0,25	148,3	297	593	890
0,26	137,2	274	549	823
0,27	127,2	254	509	763
0,28	118,3	236	473	710
0,29	110,3	221	441	661
0,30	103	206	412	618
0,31	96,5	193	386	579
0,32	90,6	181	362	543
0,33	85,2	170	341	511

Продолжение табл. 17

Диагональ отпечатка в *мм*	Нагрузка в *кГ*			
	5	10	20	30
0,34	80,2	160	321	481
0,35	75,7	151,4	303	454
0,36	71,6	143,1	286	429
0,37	67,7	135,5	271	406
0,38	64,2	128,4	257	385
0,39	61,0	121,9	244	366
0,40	58,0	115,9	232	348
0,41	58,0	110,3	221	331
0,42	55,2	105,1	210	315
0,43	52,6	100,3	201	301
0,44	50,2	95,8	191	287
0,45	45,8	91,6	183	275
0,46	—	87,6	175	263
0,47	—	84,0	168	252
0,48	—	80,5	161	242
0,49	—	77,2	155	232
0,50	37,1	74,2	148	223
0,51	—	71,3	143	214
0,52	—	68,6	137	206
0,53	—	66,0	132	198
0,54	—	63,6	127	191
0,55	30,7	61,3	123	184
0,56	—	59,1	118	177
0,57	—	57,1	114	171
0,58	—	55,1	110	165
0,59	—	53,3	107	160
0,60	25,8	51,5	103	155
0,61	—	—	100	150
0,62	—	—	96,5	145
0,63	—	—	93,4	140
0,64	—	—	90,6	136
0,65	22,0	43,9	87,8	132
0,66	—	—	85,1	128
0,67	—	—	82,6	124
0,68	—	—	80,2	120
0,69	—	—	77,9	117
0,70	18,9	37,8	75,7	114
0,75	16,5	33,0	65,9	98,9
0,80	14,5	29,0	58,0	86,9
0,85	12,8	25,7	51,4	77,0
0,90	11,5	22,9	45,8	68,7

Примечания. 1. Настоящая таблица составлена для наиболее часто применяемых нагрузок и диапазонов твердостей. Более подробная таблица приведена в ГОСТ 2999-59. 2. Для нагрузок 50 и 100 *кГ* можно использовать данные таблицы для нагрузок соответственно 5 и 10 *кГ* путем умножения чисел твердости на 10. Числа твердости для промежуточных диагоналей отпечатков, не помещенных в таблице, определяют подсчетом, например для диагонали 0,205 *мм* при нагрузке 10 *кГ* твердость равна $464-\left(\frac{464-421}{10}\right)\cdot 5\doteq 442{,}5$.

Приборами типа ТП можно измерять и твердость по Бринелю с помощью шариков диаметром 5 и 2,5 *мм*, прилагаемых к прибору, при нагрузке 62,5 и 15,6 *кГ*.

Измерение твердости по методу упругой отдачи (по Шору). Тщательно отшлифованная деталь устанавливается в приборе и на нее с определенной высоты сбрасывается боек. При отскакивании боек вызывает отклонение стрелки индикатора, которая на циферблате указывает твердость испытуемого изделия.

Измерение твердости по Шору применяется в основном для изделий, твердость поверхности которых высока.

Таблица 18

Числа твердости в *кГ/мм*^{2} (микротвердость) при испытании алмазной квадратной пирамидой с углом при вершине 136°, $P = 100$ *Г*

Диагонали отпечатка в *мк*	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	—	—	—	—	—	7420	5150	3780	2900	2290
10	1850	1530	1290	1100	946	824	724	642	572	514
20	464	420	383	350	322	297	274	254	236	221
30	206	193	181	170	160	151	143	135	128	122
40	116	110	105	100	95,8	91,6	87,6	84,0	80,5	77,2
50	74,2	71,3	68,6	66,0	63,6	61,3	59,1	57,1	55,1	53,3
60	51,5	49,8	47,8	46,7	45,3	43,9	42,6	41,3	40,1	39,0
70	37,8	36,8	35,8	34,8	33,9	33,0	32,1	31,3	30,5	29,7
80	29,0	28,3	27,6	26,9	26,3	25,7	25,1	24,5	24,0	23,4
90	22,9	22,4	21,9	21,4	21,0	20,5	20,1	19,7	19,3	18,9
100	18,5	18,2	17,8	17,5	17,1	16,8	16,5	16,2	15,9	15,6
110	15,3	15,1	14,8	14,5	14,3	14,0	13,8	13,5	13,3	13,1
120	12,9	12,7	12,5	12,3	12,1	11,9	11,7	11,5	11,3	11,1
130	11,0	10,8	10,6	10,5	10,3	10,2	10,0	9,88	9,74	9,60
140	9,46	9,33	9,20	9,01	8,94	8,82	8,70	8,58	8,47	8,35
150	8,24	8,13	8,03	7,92	7,82	7,72	7,62	7,52	7,43	7,34
160	7,24	7,15	7,07	6,98	6,90	6,81	6,73	6,65	6,51	6,49
170	6,42	6,34	6,27	6,20	6,13	6,06	5,99	5,92	5,85	5,79
180	5,72	5,66	5,60	5,54	5,41	5,42	5,36	5,30	5,25	5,19
190	5,14	5,08	5,03	4,98	4,93	4,88	4,83	4,78	4,73	4,68
200	4,64	4,58	4,54	4,50	4,46	4,43	4,38	4,32	4,28	4,24
210	4,20	4,16	4,12	4,08	4,06	4,02	3,98	3,94	3,90	3,86
220	3,83	3,80	3,76	3,74	3,70	3,66	3,64	3,60	3,56	3,54
230	3,50	3,48	3,44	3,42	3,38	3,36	3,34	3,30	3,28	3,24
240	3,22	3,19	3,17	3,14	3,11	3,09	3,05	3,04	3,02	2,99
250	2,97	2,94	2,92	2,90	2,87	2,85	2,83	2,81	2,79	2,76
260	2,74	2,72	2,70	2,68	2,66	2,64	2,62	2,60	2,58	2,56
270	2,54	2,53	2,51	2,49	2,47	2,45	2,43	2,42	2,40	2,38
280	2,36	2,35	2,33	2,32	2,30	2,28	2,26	2,25	2,24	2,22
290	2,21	2,19	2,18	2,16	2,15	2,13	2,12	2,10	2,09	2,07
300	2,06	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Прибор дает большое рассеивание показаний, поэтому за число твердости принимается средняя величина нескольких испытаний.

Результаты испытаний на твердость по методу Шора обозначают *HS*.

Определение твердости громоздких изделий производится переносными приборами ШП-0,75, а также динамическим вдавливанием шарика на приборе типа Польди; точность определения последнего в пределах ± 7%.

Измерение микротвердости в производственных условиях применяют в тех случаях, когда другие виды испытаний продавливают деталь.

Испытание производится (ГОСТ 9450-60) на специальных приборах ПМТ-2 и ПМТ-3 при нагрузках от 2 до 500 *Г*. Число твердости обозначается буквой Н с обозначением нагрузки, например H_{50}, H_{200}.

В табл. 18 приведены результаты испытаний на микротвердость при нагрузке 100 *Г*. Пересчет на другие нагрузки производится по формуле

$$H_p = \frac{P}{100} \cdot H_{100},$$

где H_p — твердость при заданной нагрузке;

P — заданная нагрузка;

H_{100} — твердость при нагрузке 100 *Г* для полученной длины отпечатка в *мк*.

Пример. При испытании под нагрузкой 20 *Г* длина отпечатка получилась 25 *мк*. Твердость при нагрузке 100 *Г* при такой же длине диагонали — 297.

При пересчете

$$H_{20} = \frac{20}{100} \cdot 297 = 59{,}4.$$

При определении микротвердости необходимо соблюдать следующие условия:

1. Место испытания должно быть отполированным.

2. При подготовке детали или образца к испытанию не следует допускать разогрева его, а также наклепа поверхности, искажающих правильность показаний прибора. Если есть возможность, рекомендуется заканчивать изготовление образца электрополировкой. В табл. 19

Таблица 19

Глубина упрочненного слоя в *мк* для различных материалов в зависимости от метода обработки

Метод обработки поверхности	Медь	Алюминий	Латунь	Закаленная инструментальная сталь
Грубая шлифовка	125	25	25	5
Чистовая	50	12,5	12,5	2,5
Металлографическая шлифовка бумагой	38	5	5	1,2
Полировка восковым шлифовальным кругом	25	2,5	2,5	—

приведены данные глубины наклепанного слоя в зависимости от метода изготовления шлифа.

3. Нагрузку следует выбирать наибольшую.

4. За число твердости следует принимать среднеарифметическое из нескольких испытаний.

Проверка правильности показаний прибора производится путем проверки микротвердости эталонов, изготовленных из чистых металлов: олова, алюминия, никеля. По мнению исследователей, наилучшим эталоном является соединение $CuAl_2$. Оно не упрочняется при изготовлении шлифа.

Микротвердость его около 500. В табл. 20 приведены микротвердости некоторых металлов.

Таблица 20

Микротвердость некоторых металлов при нагрузке 100 Г

Металл и его состояние	Микротвердость в $кГ/мм^2$	Металл и его состояние	Микротвердость в $кГ/мм^2$	Металл и его состояние	Микротвердость в $кГ/мм^2$
Алюминий литой; отлит на полированную плиту	16	Цинк литой неполированный	46	Латунь (Л68), α-фаза электролитически полированная	66
Алюминий литой (шлифованный и полированный)	24	То же, полированный	51	То же, механически полированная	139
Алюминий деформированный отожженный неполированный	19	Олово литое неполированное	9	Латуиь (Л68) β-фаза электролитически полированная	132
Медь электролитическая неполированная	28	То же, полированное	9	То же, механически полированная	193
То же, полированная	62	Свинец литой неполированный	5,3		
		То же, полированный	5,3		

В табл. 21 дано соответствие между числами твердости и пределом прочности.

Определение твердости напильником. Инструменты и изделия, твердость которых нельзя проверить на приборах (метчики, развертки, сверла, инструменты малых размеров), проверяются при помощи личных напильников по эталонам твердости, которые представляют собой набор закаленных колец разной твердости: от *HRC* 45 до *HRC* 63 с интервалами через 3—5 единиц. Попеременной пробой напильником изделий и эталонов и сравнением усилий при опиловке с достаточной точностью определяют твердость.

Таблица 21

Соответствие между числами твердости, определяемыми различными методами, и пределом прочности при растяжеиии

Твердость по Бринелю *HB*		Твердость по Роквелу *HR*			Твердость, определяемая по Викерсу *HV*	Твердость упругой отдачи по Шору *HS*	Предел прочности при растяжении в *кГ/мм²*		
		Шкалы							
Диаметр отпечатка в *мм*	Число твердости	C	A	B			Углеродистая сталь	Хромистая сталь	Никелевая и хромоникелевая стали
2,2	780	72	89	—	1224	—	—	—	—
2,25	745	70	87	—	1116	—	—	—	—
2,3	712	68	86	—	1022	—	—	—	—
2,35	682	66	85	—	941	90	—	—	—
2,40	653	64	84	—	868	86	—	—	—
2,45	627	62	83	—	804	84	—	—	—
2,50	601	60	82	—	746	81	—	—	—
2,55	578	58	81	—	694	78	—	—	—
2,60	555	56	79	—	649	75	—	—	—
2,65	534	54	78	—	606	71	—	—	—
2,70	514	52	77	—	587	69	—	—	—
2,75	495	50	76	—	551	66	178	173	168
2,80	477	49	76	—	534	65	172	167	161
2,85	461	48	75	—	502	64	165	—	—
2,90	444	46	74	—	473	61	160	156	—
2,95	429	45	73	—	460	59	155	150	146
3,00	415	44	72	—	435	58	149	145	141
3,02	409	43	72	—	423	57	147	143	139
3,05	401	42	71	—	412	56	144	139,5	136,5
3,10	388	41	71	—	401	55	139,5	136	132
3,15	375	40	70	—	390	53	135	131,5	127,5
3,20	363	39	70	—	380	52	130,5	127	123,5
3,25	352	38	69	—	361	51	126,5	123,0	119,5
3,30	341	37	68	—	344	50	122,5	119,0	116,0
3,35	331	36	68	—	335	49	119,5	116,5	113,0
3,40	321	35	67	—	320	48	115,5	112,0	109,0
3,45	311	34	67	—	312	47	111,5	108,5	105,5
3,50	302	33	67	—	305	46	108,5	105,5	102,5
3,55	293	31	66	—	291	43	105,5	102,5	100,0
3,60	286	30	66	—	285	42	103,0	100,5	97,5
3,65	277	29	65	—	278	41	99,5	97,0	94,0
3,70	269	28	65	—	272	40	97,0	94,0	91,5
3,75	262	27	64	—	261	39	94,5	92,0	89,5
3,80	255	26	64	—	255	38	92,0	89,0	86,5
3,85	248	25	63	—	250	37	89,5	87,0	84,5
3,90	241	24	63	100	240	36	87,0	84,5	82,0
3,95	235	23	62	99	235	35	84,5	82,5	80,5
4,00	228	22	62	98	226	34	82,5	80,0	77,5
4,05	223	21	61	97	221	33	80,0	77,5	76,5

Продолжение табл. 21

Твердость по Бринелю *HB*		Твердость по Роквелу *HR*			Твердость, определяемая по Виккерсу *HV*	Твердость упругой отдачи по Шору *HS*	Предел прочности при растяжении в *кГ/мм²*		
		Шкалы							
Диаметр отпечатка в *мм*	Число твердости	C	A	B			Углеродистая сталь	Хромистая сталь	Никелевая и хромоникелевая стали
4,10	217	20	61	97	217	33	78,0	76,0	74,0
4,15	212	19	60	96	213	32	76,0	74,0	72,0
4,20	207	18	60	95	209	32	74,5	72,5	70,5
4,25	202	16	59	94	201	31	72,0	71,0	68,5
4,30	196	15	58	93	197	31	70,5	68,5	66,5
4,35	192	15	58	92	190	30	69,0	67,0	65,0
4,40	187	—	57	91	186	—	67,5	65,5	63,5
4,45	183	—	56	89	183	—	66,0	64,0	62,5
4,50	179	—	56	88	177	—	64,0	62,5	60,5
4,55	174	—	55	87	174	—	62,5	61,0	59,0
4,60	170	—	—	86	171	—	61,0	59,5	58,0
4,65	166	—	—	85	165	—	60,0	58,5	57,0
4,70	163	—	—	84	162	—	58,5	57,0	55,5
4,75	159	—	—	83	159	—	57,5	55,5	54,5
4,80	156	—	—	82	154	—	56,0	54,5	53,0
4,85	153	—	—	81	152	—	55,0	53,5	52,0
4,90	149	—	—	80	149	—	53,5	52,0	50,5
4,95	146	—	—	78	147	—	52,5	51,0	50,0
5,00	143	—	—	76	144	—	51,0	49,5	48,5
5,05	140	—	—	76	—	—	50,0	49,0	47,5
5,10	137	—	—	75	—	—	49,5	48,0	46,5
5,15	134	—	—	74	—	—	48,6	47,0	45,5
5,20	131	—	—	72	—	—	47,0	45,5	44,5
5,25	128	—	—	71	—	—	46,25	44,75	43,5
5,30	126	—	—	69	—	—	45,0	43,5	42,5
5,35	124	—	—	69	—	—	44,0	43,0	42,0
5,40	121	—	—	67	—	—	43,5	42,5	41,0
5,45	118	—	—	66	—	—	42,5	41,5	40,0
5,50	116	—	—	65	—	—	41,75	40,75	39,25
5,55	114	—	—	64	—	—	41,25	40,25	38,75
5,60	112	—	—	62	—	—	40,5	39,5	38,5
5,65	109	—	—	61	—	—	39,0	—	—
5,70	107	—	—	59	—	—	38,5	—	—
5,75	105	—	—	58	—	—	38,0	—	—
5,80	103	—	—	57	—	—	37,0	—	—
5,85	101	—	—	56	—	—	36,5	—	—
5,90	99	—	—	54	—	—	35,5	—	—
5,95	97	—	—	53	—	—	35,0	—	—
6,00	96	—	—	52	—	—	34,5	—	—
6,1	92	—	—	49,5	—	—	33,0	—	—
6,2	88	—	—	47,0	—	—	32,0	—	—
6,36	84	—	—	43,5	—	—	30,0	—	—

Кроме указанных способов качество термической обработки определяется магнитными анализаторами (аустенометрами) типов МА1-5, МА5-15 и МА15-52, предназначенными для контроля термической обработки концевого инструмента из быстрорежущей стали (изготовитель — Челябинский совнархоз) и электромагнитными индуктивными дефектоскопами ЭМИД-2, ЭМИД-3, ЭМИД-6, предназначенными для контроля твердости и других показателей качества термической и химико-термической обработки (изготовитель Московский совнархоз).

2. Методы выявления наружных и внутренних дефектов в металлах

Наружные дефекты

Метод магнитиой порошковой дефектоскопии. Стальное или чугунное изделие намагничивают в дефектоскопе, после чего обливают суспензией магнитного порошка в керосине или масле. При наличии трещин порошок оседает на них. После проверки деталь размагничивают.

В табл. 22 приведены применяемые способы намагничивания изделий и области применения порошковой дефектоскопии.

Магнитный порошок должен соответствовать АМТУ 306-51. В случае иадобности порошок изготовляется по такому рецепту: мелко размолотый железный сурик или охру размешивают с керосином или маслом в кашицу средней густоты, упаковывают эту кашицу в тигель или трубку, плотно закрывают, замазывают и выдерживают в печи при температуре 600—800° С до полного сгорания керосина, после чего дают остыть до комнатной температуры. Полученный магнитный порошок следует тщательно растереть с небольшим количеством керосина или масла до состояния жидкой кашицы, после чего добавить керосин или масло из расчета 25—40 *Г* порошка на 1 *л* суспензии.

В качестве водной магнитной суспензии при обнаружении очень тонких трещин применяют не вызывающую коррозии жидкость КИО следующего состава:

Спирт денатурированный	400 *мл*
Вода	150 »
Сода каустическая	40 *Г*
Олеиновая кислота	120 *мл*
Нафтеновая кислота	200 »

Жидкость КИО добавляют в количестве 40 *мл* на 1 *л* воды, содержащей 2 *г* кальцинированной соды, и вводят в эту смесь магнитный порошок.

Метод люмииесцеитиой дефектоскопии применяется для выявления трещин в немагнитных металлах, а также материалах (например, изделия из пластмассы и т. п.). Проверка производится на приборе ЛЮМ-1 с ртутно-кварцевой лампой высокого давления ПРК-4.

В табл. 23 приведены составы для смачивания изделий.

Для облегчения удаления раствора с изделия при промывке рекомендуется вводить в раствор 0,5% эмульгатора ОП-7 или ОП-10.

Для обсыпки применяют просушенные при 150° С силикагель, окись магния, маршалит и другие порошки, измельченные до степени зернистости 4—6 (ГОСТ 3647-59).

Таблица 22

Методы магнитной дефектоскопии

Намагничивание	Способ и средство намагничивания	Область применения дефектоскопии	Применяемые аппараты
Циркулярное	Ток пропускают непосредственно через испытуемое изделие или через стержень, вставленный внутрь изделия. Такое намагничивание можно произвести путем навивки на изделие кабеля и пропускания через него тока	Для обнаружения трещин при закалке, шлифовании, ковке, сварке, а также волосовин и закатов. Наиболее надежно выявляются дефекты в продольном и радиальном направлениях (на торцовой части). Поперечные дефекты в виде усталостных трещин могут быть не обнаружены	ЦНВ-3
Продольное	Магнитное поле направлено вдоль главной оси изделия. Изделие размещают между полюсными наконечниками электромагнита или внутри соленоида	Для обнаружения трещин при закалке, шлифовании, ковке, штамповке, сварке, усталости. Наиболее надежно выявляются дефекты в поперечном направлении. Продольные дефекты могут быть не обнаружены	—
Комбинированное	Продольное и циркулярное поле одновременно накладывается на изделие. Продольное намагничивание производят с помощью электромагнита или соленоидов, а циркулярное — путем пропускания тока через изделие	Для обнаружения дефектов различного направления и происхождения	МДВ, АЕС-3 и УМД-9000-ВИАМ

Таблица 23

Составы для смачивания изделий при люмииесцентиой дефектоскопии

Составляющие	Состав 1*	Состав 2	Состав 3
Керосин	50	75	85
Бензин	25	—	—
Трансформаторное масло (чистое)	25	—	15
Дефектоль зелено-золотистый**	0,02—0,3	—	—
Нориол	—	25	—

* При изготовлеиии состава 1 сначала дефектоль растворяют в бензине, затем доливают керосин, а потом масло.

** Изготовляет Рубежанский химкомбиат.

Проверку производят в следующем порядке. Обезжиренное чистое изделие смачивают раствором, после чего выдерживают на воздухе в течение 10—15 *мин*. Затем изделие промывают сильной струей воды в течение 5—10 *сек* и просушивают, посыпают порошком, через 2—3 *мин* встряхивают или слегка обдувают для удаления лишнего порошка. После некоторой выдержки (не более 30 *мин*) изделие просматривают в ультрафиолетовом свете прибора ЛЮМ-1. При наличии трещин выходящий из них раствор смачивает силикагель, который начинает светиться отличным от остальиой поверхности ярким светом.

Метод красок. Изделие смачивают жидкостью следующего состава (компоненты указаны в % по объему)

Керосин	65
Трансформаторное масло	30
Скипидар	5

В качестве красителя добавляют судан III, судан II, судан I в количестве 10 *г* на 1 *л* раствора.

После выдержки в течение 10—15 *мин* изделие насухо вытирают и на него наносят тонким слоем (лучше всего пульверизатором) суспензию каолина в воде (600 *Г* каолина на 1 *л* воды). Затем изделие сушат струей воздуха и при наличии трещин выходящий из них раствор окрасит каолин в цвет красителя.

Звуковая проба. Разбраковку изделий на наличие трещин можно производить пробой на удар. Удар производят металлическим предметом по изделию, находящемуся на весу, или сбрасыванием изделия на металлическую плиту. Изделие, имеющее трещину, при ударе издает глухой звук.

Для определения трещин и других дефектов в стали методом глубокого травлеиия применяют реактивы, перечисленные в табл. 24.

Для медных сплавов применяют следующие травители: 10—20-процентный водный раствор персульфата аммония; 10-процентный раствор перекиси водорода в насыщенном водном растворе аммиака и раствор хлорного железа (10 *Г*) и соляной кислоты (30 *см*^{3}) в воде (120 *см*^{3}). Последний реактив применяется также для травления сплавов на никелевой основе.

Таблица 24

Реактивы для глубокого травления стали

Назначение реактива	Состав реактивов в % по объему				Режим травления	
	Соляная кислота HCl	Азотная кислота HNO_3	Серная кислота H_2SO_4	Вода	Температура в °С	Время выдержки
Для углеродистой стали . . .	—	—	17	83	60	До 2 *ч*
То же	50	—	—	50	60—70	10—45 *мин*
»	—	50	—	50	70—80	1—2 *ч*
Для легированной стали	17	—	33	50	До 100	20—60 *мин*
То же	66	—	10	24	95—98	20 *мин*—2 *ч*

Для травления дюралюминия применяют следующий состав: соляная кислота 16,5%, азотная кислота 16,5%, фтористо-водородная кислота 4,5% и вода 62,5%. Реактив действует быстро; после травления изделие необходимо немедленно промыть и просушить.

Глубоким травлением обычно проверяют только подозрительные на трещины изделия. Так как кислота растворяет поверхность металла, изделие может уменьшиться в размерах.

Проба керосином или горячим маслом заключается в том, что изделия погружают в керосин или нагретое масло на 10—20 *мин*, после чего обдувают песком или насухо вытирают тряпкой и натирают мелом. В местах трещин керосин или масло выступает в виде мелких полосок.

Внутренние дефекты

Метод просвечивания рентгеновскими лучами основан на том, что рентгеновские лучи, прошедшие через металл, улавливаются на пленке (рентгенография) или экране (рентгеноскопия) и по разной степени потемнения отдельных мест изображения судят о наличии и форме дефектов.

В табл. 25 приведены данные о наибольшей толщине просвечивания разных металлов.

Таблица 25

Наибольшая толщиина в *мм* просвечивания рентгеновскими аппаратами разных металлов

Аппарат	Металл		
	Сталь	Медь	Алюминиевые сплавы
РУП 400-5-1	100	60	—
РУП 200-20-4	50	—	250
РУП 60-20-1	20	—	—

Таблица 26

Справочные данные по применению радиоактивных изотопов для просвечивания разных металлов

Просвечиваемый металл	Радиоактивности изотопа							
	Co^{60} (5,3 года)*		Ir^{192} (75 дней)		Se^{75} (125 дней)		Tl^{170} (129 дней)	
	Толщина просвечиваемого металла в *мм*							
	наиболее эффективная	возможная	наиболее эффективная	возможная	наиболее эффективиая	возможная	наиболее эффективная	возможная
Сталь	60—200	30—300	10—40	5—70	7—15	5—30	1—10	1—20
Сплавы алюминия .	250—500	200—600	50—250	40—300	40—150	20—200	5—50	3—70
Сплавы магния		300—700	100—300	70—400	50—200	30—300	30—150	10—200
Сплавы титана	100—300	60—40	15—70	10—100	10—30	7—50	2—20	2—40

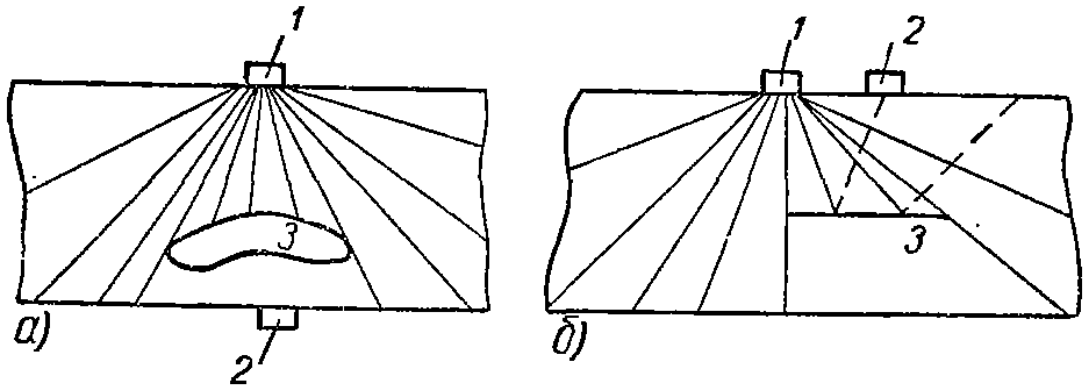
* В скобках указано время полураспада данного изотопа.

Максимальная чувствительность рентгеновского метода такова, что можно выявить дефекты размеров не менее 1—2% от толщины просвечиваемого металла.

Метод γ-дефектоскопии отличается от метода просвечивания рентгеновскими лучами тем, что источником просвечивающих лучей являются самопроизвольно распадающиеся радиоактивные вещества — кобальт, иридий, селен, тулий и др.

В табл. 26 приведены справочные данные по дефектоскопии.

Чувствительность метода дефектоскопии изделий толщиной свыше 50 *мм* одинакова с рентгеновским. Для изделий, толщина которых менее 50 *мм*, метод γ-дефектоскопии способен выявлять дефекты размером свыше 3—6% от толщины металла.



Фиг. 4. Схема прозвучивания изделия для определения дефектов:
а — по методу звуковой тени; *б* — по методу отражения.
1 — вибратор; *2* — резонатор; *3* — дефект.

Преимущества метода γ-дефектоскопии по сравнению с рентгеновским заключаются в том, что этот метод не требует электроэнергии; толщина просвечиваемого металла больше; стоимость установки и ее эксплуатация дешевле.

Метод ультразвуковой дефектоскопии основан на способности ультразвуковых колебаний проникать в металл и отражаться от дефектов, встречаемых на их пути. Источником звуковых колебаний служит пьезоэлектрическая пластина из кварца или титаната бария. Частота звуковых колебаний от 0,5 до 4 *мгц*.

На фиг. 4 приведена схема прозвучивания изделий импульсным методом, получившим наибольшее применение в ультразвуковой дефектоскопии металлов.

Особенностью этого метода является возможность определения дефектов на больших глубинах (до нескольких метров).

Недостатки метода: 1) наличие мертвой непросвечиваемой зоны на расстоянии нескольких миллиметров от поверхности приема лучей; 2) трещины, лежащие вдоль просвечивания, не выявляются, поэтому требуется прозвучивание в нескольких направлениях; 3) прозвучиваемая поверхность должна быть обработана не менее ▽6; 4) не применяется для изделий сложной формы.

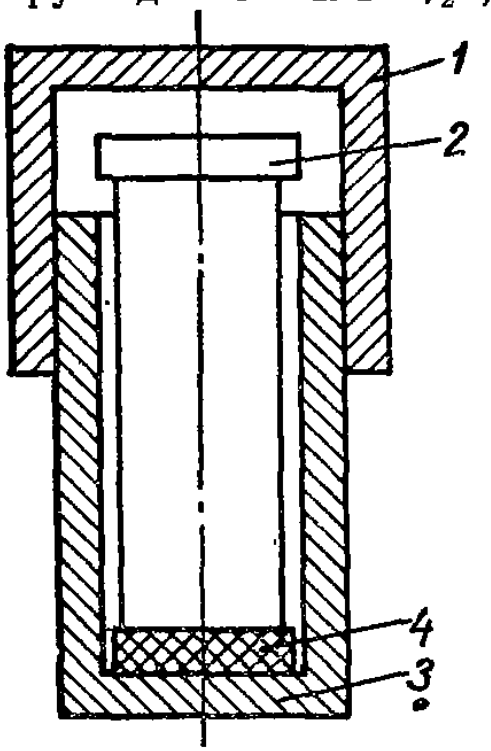
3. Определение прокаливаемости конструкционной стали (ГОСТ 5657-51)

Под прокаливаемостью понимают глубину проникновения закаленного слоя. Образец, нагретый до закалочной температуры в защитной среде или приспособлении (фиг. 5), охлаждается в специальной установке,

предложенной НАМИ, струей воды в торец до полного охлаждения. При этом вода не омывает цилиндрическую поверхность образца. Условия охлаждения: 1) диаметр водопроводной трубы должен быть $^1/_2''$; 2) расстояние от выходного отверстия трубы до торца должно быть 12,5 *мм*; 3) напор воды должен обеспечивать высоту свободной струи 65 *мм*.

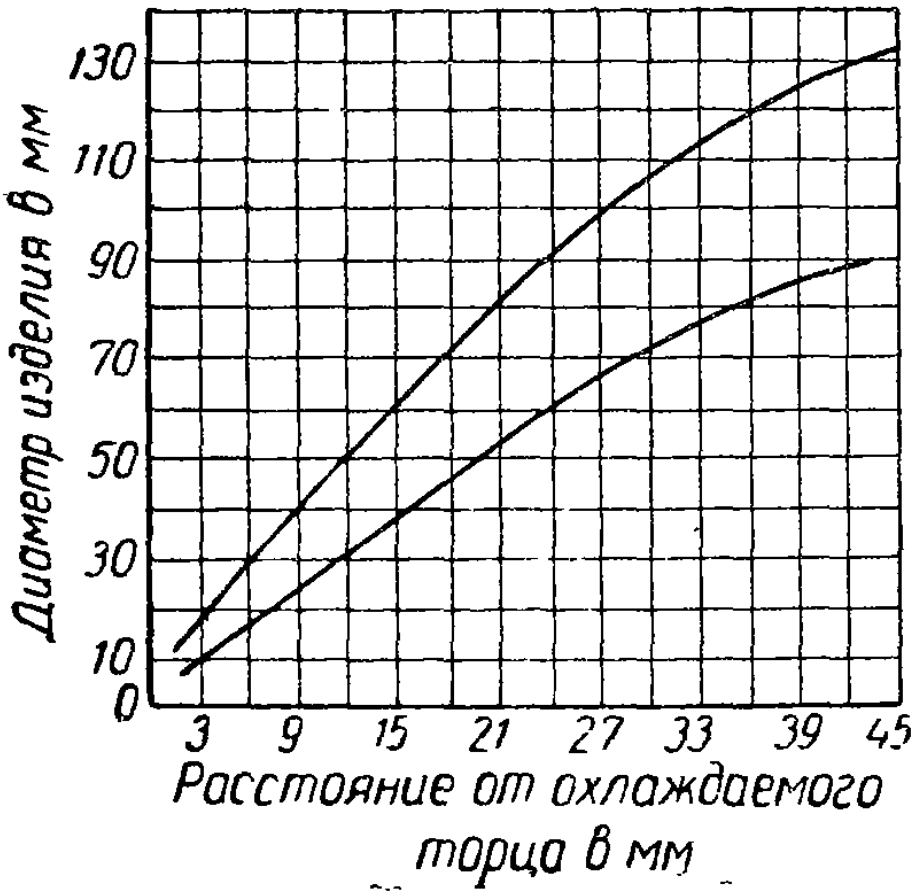
После охлаждения сошлифовывают лыски с двух противоположных сторон боковой поверхности образца на глубину 0,2—0,5 *мм*, проверяют твердость на длине до 48 *мм* от закаленного торца и строят график по координатам — расстояние от охлаждаемого торца — твердость *HRC*. За глубину прокаливаемости принимают то расстояние от закаленного торца, на котором твердость равна твердости стали со структурой 50% мартенсита + 50% тростита (табл. 27).

Для определения глубины прокаливаемости цилиндрических изделий по результатам торцовой закалки пользуются графиком, приведенным на фиг. 6.



Фиг. 5. Приспособление для нагрева под закалку образцов при испытании их на прокаливаемость:
1 — крышка; *2* — образец; *3* — стакан; *4* — графитовая пластина.

Определение прокаливаемости инструментальной стали, закаливаемой в воде. Согласно ГОСТ 1435-54 на инструментальную углеродистую сталь в сертификат каждой плавки заносятся результаты испытания на прокаливаемость.

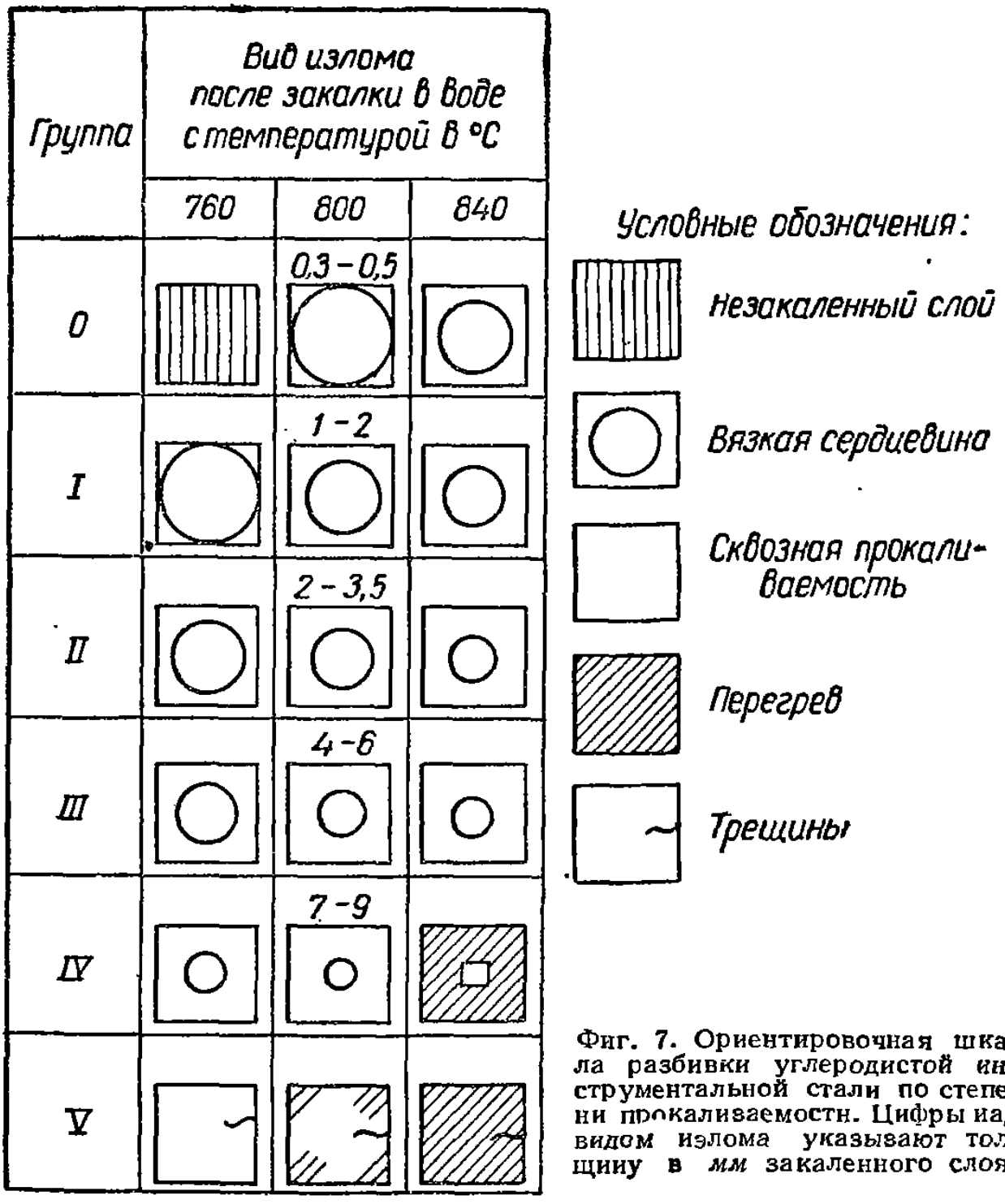


Фиг. 6. График для определения прокаливаемости цилиндрических изделий при испытании их методом торцовой закалки.

Таблица 27

Твердость полумартенситной зоны разных сталей

Содержание углерода в %	Твердость *HRC*	
	углеродистой стали	легированной стали
0,08—0,17	—	25
0,18—0,22	25	30
0,23—0,27	30	35
0,28—0,32	35	40
0,33—0,42	40	45
0,43—0,52	45	50
0,53—0,62	50	55



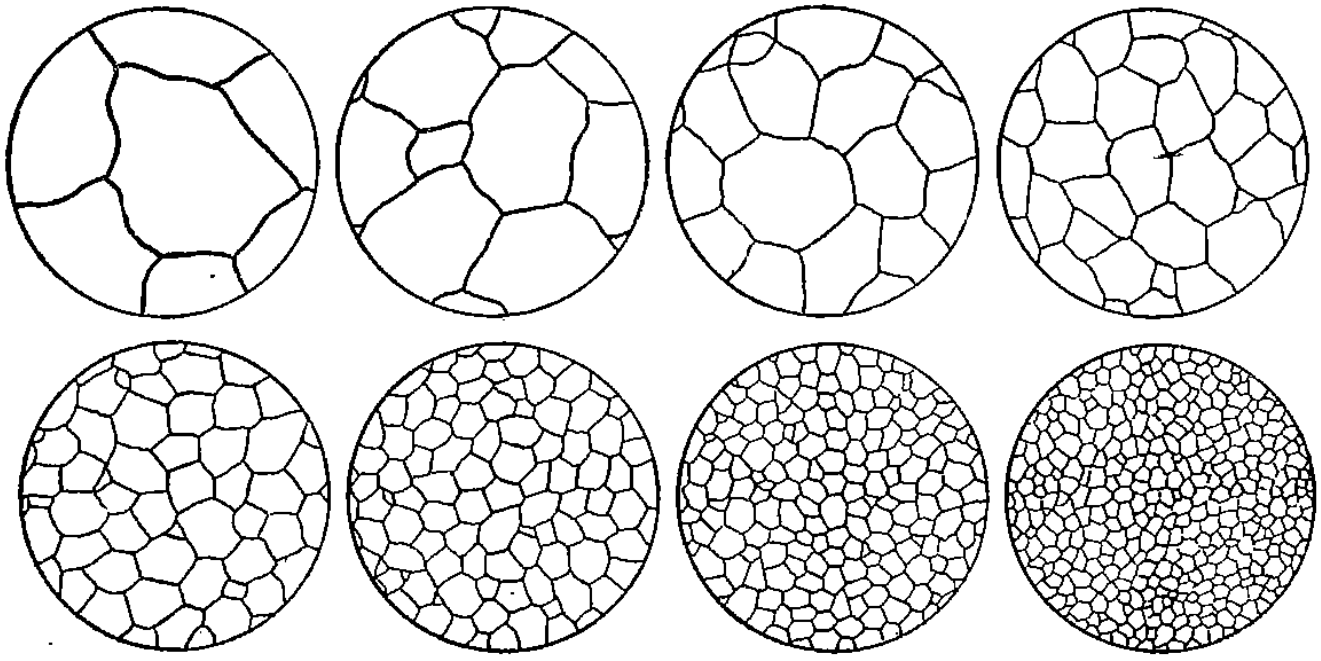
Фиг. 7. Ориентировочная шкала разбивки углеродистой инструментальной стали по степени прокаливаемости. Цифры над видом излома указывают толщину в *мм* закаленного слоя.

При необходимости проверки образцы закаливают от температуры 760—840°С и по излому определяют глубину прокаливаемости и пригодность стали для данного инструмента (фиг. 7).

4. Определение величины аустенитного зерна стали

ГОСТ 5639-51 установил шкалу размеров зерен (фиг. 8), с которыми сравнивают проверяемые образцы. Приводим некоторые способы определения величины аустенитного зерна стали.

1. Цементация образцов при 920—940°С, выдержка 8 *ч*, медленное охлаждение до 600°С в печи. Закалка не требуется. Размер аустенитного



Фиг. 8. Шкала для оценки величины зерна стали.

зерна определяют по карбидной сетке заэвтектоидного слоя, окаймляющей бывшие аустенитные зерна. Применяют для сталей доэвтектоидного состава.

2. Нагрев при 920—940°С в течение 3 *ч* в печи, охлаждение 80—100°С/*ч* до 600°С, а затем на воздухе. Шлиф травят для обоих способов в кипящем растворе пикрата натрия в течение 10—20 *мин* или в 4-процентном растворе азотной кислоты в этиловом спирте. Применяют для сталей заэвтектоидного состава.

3. Метод окисления, при котором полностью изготовленный шлиф нагревают в окислительной атмосфере при 920—940°С в течение 15—30 *мин*, после чего охлаждают в воде, слегка шлифуют и полируют. Травят образцы 15-процентным спиртовым раствором соляной кислоты в течение 2—10 *мин*. Применяют для конструкционных и инструментальных сталей.

5. Примерное определение состава стали

Определение состава стали при помощи стилоскопа. Метод спектрального анализа заключается в том, что между испытуемым изделием и электродом зажигают электрическую дугу и в стилоскопе рассматри-

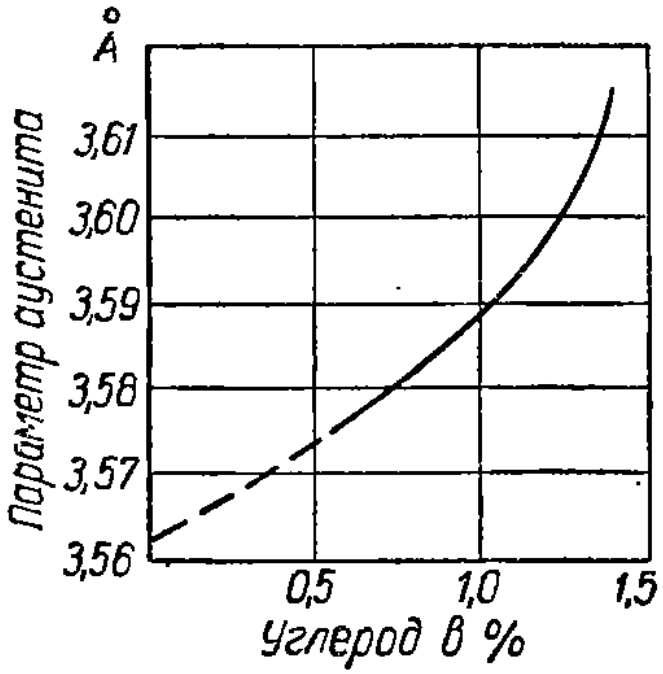
вают получившийся спектр. Большинство элементов стали при сгорании дает в спектре характерные линии, отличающиеся друг от друга. По характеру расположения и интенсивности этих линий согласно прилагаемым к прибору таблицам определяют примерное содержание элементов стали. Процесс занимает несколько минут. Углерод, сера и фосфор этим способом не определяются.

Определеиие состава стали по искре. Для более правильного определения состава стали по искре следует затемнить место испытания; необходимо иметь клейменные образцы потребляемых заводом марок стали. Наблюдая цвет, количество и характер искр испытуемого изделия и образца, можно примерно определить марку стали.

Глава III

СТАЛЬ — СОСТАВ И СВОЙСТВА

1. Атомное строение железа



Фиг. 9. Параметр решетки аустенита в зависимостн от содержаиня углерода в стали.

Атомный номер 26. Количество протонов и нейтронов в ядре по 26. Атомный вес 55,85. Имеется четыре изотопа с количеством нейтронов 28, 30, 31 и 32.

В сплавах железа с углеродом атомы углерода внедряются в межатомное пространство кристаллической решетки и находятся в нем — твердый раствор внедрения. Наибольшая концентрация углерода в твердом α-растворе меньше 0,03%, в твердом γ-растворе равна 2%, в твердом δ-растворе — 0,1%.

Параметр решетки γ-раствора растет с увеличением содержания углерода и характеризуется данными, приведенными на фиг. 9. (табл. 28, 29, 30).

Таблица 28

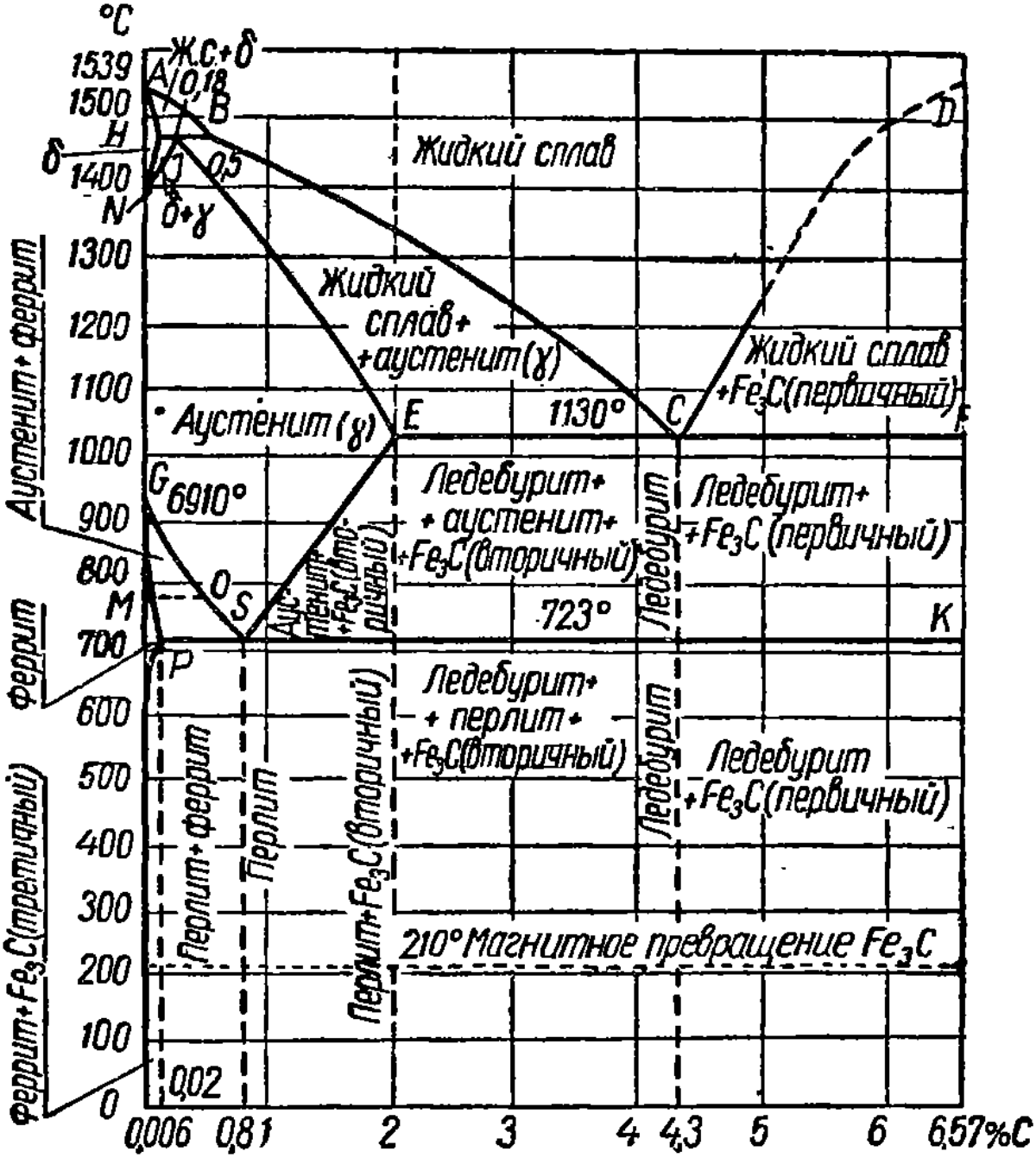
Распределение электронов в атоме железа по группам и подгруппам

Группа	1	2		3			4			
Подгруппа	1S	2S	2P	3S	3P	3d	4S	4P	4d	4f
Количество электронов	2	2	6	2	6	6	2	—	—	—

2. Диаграмма состоянии железо—углерод

Диаграмма, представленная на фиг. 10, определяет состояние сплава железа с углеродом в любой точке при медленном охлаждении и нагревании (содержание углерода до 6,67%).

В табл. 31, 32, 33 даны пояснения терминов и обозначений, имеющихся на диаграмме.



Фиг. 10. Диаграмма состояния железоуглеродистых сталей.

Таблица 29

Числовые величины, постоянные для кристаллических решеток железа

Тип решетки	Параметры решетки в Å	Межатомные расстояния в Å	Атомные раднусы в Å	Координационное число K*
Объемноцентрированный куб α-железа	2,866	2,485	1,242	8
Гранецентрированный куб γ-железа:				
при 910°С . . .	3,597	2,545	1,273	
при 1100°С	3,637	2,575	1,283	12
при 1390°С .	3,678	—	—	—

* K — число атомов, находящихся яа одинаковом расстоянии от даяного атома.

Таблица 30

Температурные области устойчивости различных кристаллических форм чистого железа

При нагреве		При охлаждении	
Решетка устойчива	В области температур (в °С)	Решетка устойчива	В области температур (в °С)
Объемноцентрированная α-железа	До 910	Объемноцентрированная δ-железа	От 1539 до 1390
Гранецентрированная γ-железа	От 910 до 1390	Гранецентрированная γ-железа	От 1390 до 898
Объемноцентрированная δ-железа	От 1390 до 1539	Объемноцентрированная α-железа	Ниже 898

Примечание. 1. Несовпадение между температурами превращений при нагреве и охлаждении называется тепловым гистерезисом.

Таблица 31

Структурные составляющие железоуглеродистых сплавов

Наименование	Определение	Условия образования	При каких температурах устойчивы	Физические свойства	Твердость *НВ*
Аустенит	Твердый раствор углерода и других элементов в γ-железе. Содержит углерода до 2,0%	При затвердении жидкого раствора с содержанием углерода не более 4,3%	Выше A_{c_3}, A_{c_m} и A_{c_1}	Мягок, немагнитен, тягуч, мало упруг. Обладает электрическим сопротивлением	170—220
Феррит	Твердый раствор углерода и других элементов в α-железе. Содержит углерода до 0,006%	При медленном охлаждении доэвтектоидной стали ниже A_{r_3} выделяется из аустенита	Ниже A_{c_3}	Мягок, очень тягуч, магнитен при температуре ниже точки Кюри	60—100
Цементит	Химическое соединение железа с углеродом — карбид железа Fe_3C. Содержит углерода 6,67%	Первичный из жидкого раствора при содержании углерода свыше 4,3%; вторичный — из аустенита при медленном охлаждении		Тверд, хрупок. Магнитен до температуры 210°С. При нагреве выше 210°С становится немагнитным	820
Перлит	Эвтектоидная смесь цементита с ферритом	При медленном охлаждении аустенита в результате диффузии углерода	Ниже 723°С	Более тверд и прочен, чем феррит, но менее пластичен. Магнитен	160—230
Мартенсит	Твердый раствор углерода и других элементов в α-железе с искаженной тетрагональной решеткой	При охлаждении аустенита со скоростью выше критической	Ниже 150°С	Хрупок, тверд. Твердость зависит от содержания углерода. Магнитен, мало теплопроводен, мало электропроводен	650—700

Продолжение табл. 31

Наименование	Определение	Условия образования	При каких температурах устойчивы	Физические свойства	Твердость *НВ*
Тростит	Высокодисперсная смесь феррита и карбидов	При нагреве мартенсита в пределах 250 — 400 °С	Примерно до 500°С	Магнитен, несколько менее прочен, более пластичен и более электропроводен, чем мартенсит	350—450
Игольчатый тростит	То же	При изотермическом превращении аустенита в пределах температур 250—400°С	До 500°С	Тверд, несколько пластичен. Магнитен	Тверже тростита
Сорбит	Дисперсная смесь феррита и цементита	При нагреве мартенсита в пределах от 400°С до A_{c_1}	До A_{c_1}	Пластичен и вязок. Менее прочен и тверд, чем тростит. Магнитен	270—320
Ледебурит	Эвтектическая смесь аустенита и цементита при температуре выше 723°С и перлита и цементита при температуре ниже 723°С. Содержит углерода 4,3%	Образуется при затвердении жидкого сплава с содержанием углерода свыше 2,0%	Ниже 1130°С	Хрупок	—

Примечание. 1. Структуры стали, состоящие из мартенсита и тростита, а также из тростита и сорбита, называются тростомартенситом и тростосорбитом и имеют промежуточные между этими структурами свойства. 2. В некоторых марках сложнолегированной стали (нержавеющая и т. п.) аустенит устойчив при комнатной температуре.

Таблица 32

Основные превращения в железоуглеродистых сплавах при медленном нагревании и охлаждении

Линии на диаграмме (фиг. 10), на которых происходят превращения	Температура превращения в °С	Сущность превращений	Обозначение критических точек	
			при нагреве	при охлаждении
PSK	723	Превращение перлита в аустенит. Превращение аустенита в перлит	A_{c_1}	A_{r_1}
MO	768	Потери магнитных свойств для сталей, содержащих углерода примерно до 0.5 %. Возникновение магнитных свойств для тех же сталей	A_{c_2}	A_{r_2}
GOS	910—723	Окончание растворения феррита в аустените в доэвтектоидных сталях Начало выделения феррита из аустенита в доэвтектоидных сталях	A_{c_3}	A_{r_3}
SE	723—1130	Окончание растворения цементита в аустените в заэвтектоидных сталях. Начало выделения цемента из аустенита в заэвтектоидных сталях	A_{c_m}	A_{r_m}
JE	—	Начало плавления стали при нагреве. Окончание затвердевания стали при охлаждении	—	—
ECF	1130	Начало плавления чугуна при нагреве Окончание затвердевания чугуна при охлаждении	—	—

Продолжение табл. 32

Линии на диаграмме (фиг. 10), на которых происходят превращения	Температура превращения в °С	Сущность превращения	Обозначение критических точек	
			при нагреве	при охлаждении
ABCD	—	Окончание расплавления стали и чугуна при нагреве Начало затвердевания стали и чугуна при охлаждении	—	—
—	210	Потеря магнитных свойств цементита при нагреве и возникновение при охлаждеиии	—	—

Таблица 33

Содержание углерода в различных точках диаграммы состояния железо — углерод (фиг. 10)

Точка	Температура в °С	Содержание углерода в %	Точка	Температура в °С	Содержание углерода в %
A	1539	0	*G*	910	0
B	1492	0,5	*M*	768	0
У	1492	0,18	*0*	768	0,5
H	1492	0,1	*P*	723	0,02
N	1390	0	*S*	723	0,8
E	1130	2,0	*Q*	20	0,006
C	1130	4,3	*D, F, K*	—	6,67

3. Легирующие элементы и их влияние на свойства стали (табл. 34, 35, 36)

Марганец и кремний являются легирующими элементами в том случае, если они находятся в стали в количествах, больших, чем 0,8—0,9% и 0,5—0,6% соответственно.

В табл. 37—57 помещены данные о химическом составе и механических свойствах марок стали.

В табл. 58 приведены температуры критических точек.

В табл. 59 и 60 приведены температуры критических точек.

В табл. 59 и 60 приведены данные по нержавеющим и жаропрочным сталям.

4. Химический состав и механические свойства сталей и сплавов в состоянии поставки

Углеродистая сталь обыкновенного качества (ГОСТ 380-60) разделяется на две основные группы: группа А — поставляемая по механическим свойствам и группа Б — поставляемая по химическому составу.

Таблица 34

Условные обозначения элемеитов, входящих в состав стали

Элемент	Обозначения элементов в таблнцах химического состава	Сбозначения элементов. принятые в стандартах для маркировки стали
Алюминий	Al	Ю
Бор	B	Р
Ванадий	V	Ф
Вольфрам	W	В
Кобальт	Co	К
Кремний	Si	С
Марганец	Мп	Г
Медь	Cu	Д
Молибден	Mo	М
Никель	Ni	Н
Ниобий	Nb	Б
Сера	S	—
Титан	Ti	Т
Углерод	C	У
Фосфор	P	П
Хром	Cr	Х
Цирконий	Zr	Ц

Таблица 35

Кристаллическая структура основиых легирующих элемеитов

Элемент	Атомный радиус в Å	Тип кристаллическоой структуры
Si	1,17	Структура алмаза
Ni	1,25	Кубическая гранецентрированная
Co	1,25	Гексагональиая до 450°
Мп	1,27	Кубическая сложная
Cr	1,30	Кубическая объемноцентрированная
V	1,36	То же
Mo	1,39	»
W	1,41	»
Ti	1,47	Гексагональная

Элемент	Растворимость в %		Склонность к перегреву	Прокаливаемость	Температуры отжига, нормализации и закалки	Твердость и прочность
	α-Fe	γ-Fe				
Алюминий	30	Около 1 при 1100—1200°С	Значительно уменьшает	Понижает	Значительно повышает	Несколько повышает
Бор			Увеличивает	Увеличивает	Повышает	Повышает
Ванадий	16	1,1 при 1150°С	Заметно уменьшает	Незначительно уменьшает	»	»
Вольфрам	6	1,5	Уменьшает	Увеличивает	»	»
Кобальт	До 80	Не ограничена	Мало влияет	Уменьшает	Мало влияет	Слабо повышает
Кремний	15	2	То же	Увеличивает	Повышает	Повышает
Марганец	12	Не ограничена	Увелнчивает	То же	Понижает	»
Молибден	4	2,5	Мало влияет	Значительно увеличивает	Повышает	Повышает
Никель	25	Не ограничена	Мало влияет	Увелнчивает	Понижает	Повышает
Ниобий	—	—	—	—	Повышает	Понижает
Титан	3	0,65	Уменьшает	Уменьшает	Значительно повышает	Несколько повышает
Хром	—	—	Несколько уменьшает	Увеличивает	Повышает	Повышает

Пластические свойства	Обезуглероживаемость	Влияние на				
		отпускную хрупкость	жаропрочность	окалиностойкость	коррозионностойкость	цементуемость
Несколько повышает при малом содержании	Увеличивает	Не влияет	Не влияет	Значительно повышает	Практически не влияет	Цементацию замедляет. Способствует азотированию
Уменьшает	—	Мало влияет	Повышает	Понижает	Ухудшает	Несколько ускоряет
Повышает	Не влияет	Уменьшает	»	»	—	Мало влияет
Несколько повышает при содержании менее 1%	Увеличивает	»	»	»	Незначительно ухудшает	Уменьшает глубину цементационного слоя
Мало влияет	»	—	»	Повышает в сочетании с Cr и Ni	Повышает	Мало влияет
Понижает	»	—	—	Повышает	»	—
Не снижает до 1,5% в малоуглеродистой стали	—	При содержании свыше 1,5% повышает	Повышает в сочетании с Cr и Ni	Незначительно уменьшает	—	Не влияет
Повышает при содержании до 0,6%	Увеличивает	Уменьшает	Повышает	Понижает	Повышает	Не влияет
Несколько повышает	Не влияет	Не влияет	Повышает, способствуя образованию аустенита	Повышает совместно с Cr	Повышает	Уменьшает
Повышает	—	—	Повышает	—	»	Мало влияет
Несколько повышает	—	—	»	Понижает	»	Незначительно уменьшает
Не снижает до 1,5%	—	Незначительно увеличивает	—	Повышает	»	Мало влияет

Таблица 37

Механические свойства углеродистой стали обыкиовенного качества, поставляемой по группе А

(ГОСТ 380-60)

Марка стали	$\sigma_в$ в *кГ/мм²*	δ_{10} в %, не менее
Ст. 0	Не менее 32	18
Ст. 1 Ст. 1 кп	32—40	28
Ст. 2 Ст. 2 кп	34—42	26
Ст. 3 кп	38—40 41—43 44—47	23 22 21
Ст. 3	38—40 41—43 44—47	23 22 21
Ст. 4 Ст. 4 кп	42—44 45—48 49—52	21 20 19
Ст. 5	50—53 54—57 58—62	17 16 15
Ст. 6	60—63 64—67 68—72	13 12 11
Ст. 7	70—74 75 и более	9 8

Таблица 38

Химический состав углеродистой стали обыкновенного качества, поставляемой по группе Б
(ГОСТ 380-60)

Марка стали	Содержание элементов в %		
	C	Si	Mn
МСт. 0	Не более 0,23	—	—
МСт. 1 кп	0,06—0,12	Не более 0,05	0,25—0,50
МСт. 2 кп	0,09—0,15	Не более 0,07	0,25—0,50
МСт. 3 кп	0,14—0,22	Не более 0,07	0,30—0,60
МСт. 3	0,14—0,22	0,12—0,30	0,40—0,65
МСт. 4 кп	0,18—0,27	Не более 0,07	0,40—0,70
МСт. 4	0,18—0,27	0,12—0,30	0,40—0,70
МСт. 5	0,28—0,37	0,15—0,35	0,50—0,80
МСт. 6	0,38—0,49	0,15—0,35	0,50—0,80
МСт. 7	0,50—0,62	0,15—0,35	0,50—0,80

Примечания. 1. Количество фосфора для стали МСт. 0 не более 0,07%, а для остальных марок не более 0,045%, соответственно серы 0,06% и 0,055%. 2. В табл. 38 приведены составы сталей, выплавляемых в мартеновских печах. Составы сталей, выплавляемых в бессемеровских печах, см. в ГОСТ 380-60.

Таблица 39

Химический состав и твердость автоматной стали
(ГОСТ 1414-54)

Марка стали	Содержание элементов в %					Твердость *HB*
	C	Si	Mn	S	P	
А12	0,08—0,16	0,15—0,35	0,6—0,9	0,08—0,20	0,08—0,15	167—217
А20	0,15—0,25	0,15—0,35	0,6—0,9	0,08—0,15	Не более 0,06	167—217
А30	0,25—0,35	0,15—0,35	0,7—1,0	0,08—0,15	Не более 0,06	174—233
А40Г	0,35—0,45	0,15—0,35	1,2—1,55	0,18—0,3	Не более 0,05	179—229

Таблица 40

Химический состав и механические свойства углеродистой качественной стали

(ГОСТ 1050-60)

Марка стали	Содержание элементов в %			Механические свойства		
	C	Si	Mn	$\sigma_в$ в *кГ/мм²*, не менее	δ в %, не менее	Твердость *НВ*, не более
			Группа 1			
05 кп	Не более 0,06	Не более 0,03	Не более 0,40	—	—	—
08 кп*	0,05—0,11	Не более 0,03	0,25—0,50	30	35	131
08*	0,05—0,12	0,17—0,37	0,35—0,65	33	33	
10 кп*	0,07—0,14	Не более 0,07	0,25—0,50	32	33	137
10*	0,07—0,14	0,17—0,37	0,35—0,65	34	31	
15 кп*	0,12—0,19	Не более 0,07	0,25—0,50	36	29	143
15*	0,12—0,19	0,17—0,37	0,35—0,65	38	27	
20 кп*	0,17—0,24	Не более 0,07	0,25—0,50	39	27	156
20*	0,17—0,24	0,17—0,37	0,35—0,65	42	25	
25*	0,22—0,30	0,17—0,37	0,50—0,80	46	23	170
30*	0,27—0,35	0,17—0,37	0,50—0,80	50	21	179
35*	0,32—0,40	0,17—0,37	0,50—0,80	54	20	187
40	0,37—0,45	0,17—0,37	0,50—0,80	58	19	187
45	0,42—0,50	0,17—0,37	0,50—0,80	61	16	197
50	0,47—0,55	0,17—0,37	0,50—0,80	64	14	207
55	0,52—0,60	0,17—0,37	0,50—0,80	66	13	217
60	0,57—0,65	0,17—0,37	0,50—0,80	69	12	229
65	0,62—0,70	0,17—0,37	0,50—0,80	71	10	229
70	0,67—0,75	0,17—0,37	0,50—0,80	73	9	229
75	0,72—0,80	0,17—0,37	0,50—0,80	110	7	241
80	0,77—0,85	0,17—0,37	0,50—0,80	110	6	241
85	0,82—0,90	0,17—0,37	0,50—0,80	115	6	255
			Группа II			
15Г*	0,12—0,19	0,17—0,37	0,70—1,00	42	26	163
20Г*	0,17—0,24	0,17—0,37	0,70—1,00	46	24	197
25Г*	0,22—0,30	0,17—0,37	0,70—1,00	50	22	207
30Г	0,27—0,35	0,17—0,37	0,70—1,00	55	20	187
35Г	0,32—0,40	0,17—0,37	0,70—1,00	57	18	197
40Г	0,37—0,45	0,17—0,37	0,70—1,00	60	17	207
45Г	0,42—0,50	0,17—0,37	0,70—1,00	63	15	217
50Г	0,48—0,56	0,17—0,37	0,70—1,00	66	13	217
60Г	0,57—0,65	0,17—0,37	0,70—1,00	71	11	229
65Г	0,62—0,70	0,17—0,37	0,90—1,20	75	9	229
70Г	0,67—0,75	0,17—0,37	0,90—1,20	80	8	229

Примечания. 1. Содержание серы для всех марок стали менее 0,04, содержание фосфора менее 0,04, кроме марок 05 кп, 0,8 и 10, где содержание фосфора менее 0,035. 2. Для отмеченных звездочкой сталей твердость указана в неотожженном состоянии, а для остальных — в отожженном.

Химический состав стали прокатной для лемехов плугов марки Л53 (ГОСТ 8531-57): C=047—0,57, Мп=0,5—0,8 Si=0,15—0,4. Твердость $HB \leqslant 255$.

Таблица 41

Химический состав и твердость легированной конструкционной стали

(по ГОСТ 4543-61 и ведомственным нормалям)

Марка	Содержание элементов в %				Твердость *HB*, не более
	C	Mn	Cr	Прочие	
10Г2	0,07—0,15	1,2—1,6	—	—	197
35Г2	0,31—0,39	1,4—1,8	—	—	207
40Г2	0,36—0,44	1,4—1,8	—	—	217
45Г2	0,41—0,49	1,4—1,8	—	—	229
50Г2	0,46—0,55	1,4—1,8	—	—	229
15Х*	0,12—0,18	0,4—0,7	0,7—1,0	—	179
15ХР*	0,12—0,18	0,4—0,7	0,7—1,0	0,002—0,005 B	187
20Х	0,17—0,23	0,5—0,8	0,7—1,0	—	179
30Х	0,25—0,33	0,5—0,8	0,8—1,1	—	187
30ХРА	0,27—0,33	0,5—0,8	1,0—1,3	0,002—000,5 B	241
35Х	0,31—0,39	0,5—0,8	0,8—1,0	—	197
35ХРА	0,33—0,40	0,5—0,8	0,8—1,0	0,002—0,005 B	217
38ХА	0,35—0,42	0,5—0,8	0,8—1,1	—	207
40Х	0,36—0,44	0,5—0,8	0,8—1,1	—	217
40ХР	0,37—0,45	0,5—0,8	0,8—1,1	0,002—0,005 B	229
45Х	0,41—0,49	0,5—0,8	0,8—1,1	—	229
45ХЦ	0,41—0,49	0,5—0,8	0,8—1,1	0,5 Al, 0,15—0,25 Zr	217
50Х	0,46—0,54	0,5—0,8	0,8—1,1	—	229
18ХГ	0,15—0,21	0,9—1,2	0,9—1,2	—	187
18ХГТ	0,17—0,23	0,8—1,1	1,0—1,3	0,06—0,12 Ti	217
20ХГР	0,18—0,24	0,7—1,0	0,8—1,1	0,002—0,005 B	197
30ХГТ	0,24—0,32	0,8—1,1	1,0—1,3	0,06—0,12 Ti	229
40ХГ	0,37—0,45	0,9—1,2	0,9—1,2	—	229
40ХГР	0,37—0,45	0,7—1,0	0,8—1,1	0,002—0,005 B	241
35ХГ2	0,32—0,40	1,6—1,9	0,4—0,7	—	229
33ХС	0,29—0,37	0,3—0,6	1,3—1,6	1,0—1,3 Si	241
38ХС	0,34—0,42	0,3—0,6	1,3—1,6	1,0—1,0 Si	255
40ХС	0,37—0,45	0,3—0,6	1,3—1,6	1,2—1,6 Si	255
27СГ	0,23—0,31	1,1—1,4	⩽0,25	1,1—1,4 Si	217
35СГ	0,31—0,39	1,1—1,4	⩽0,25	1,1—1,4 Si	229
36Г2С	0,32—0,40	1,5—1,8	⩽0,25	0,4—0,7 Si	229
15ХМ	0,11—0,18	0,4—0,7	0,8—1,1	0,4—0,55 Mo	179
30ХМ*	0,26—0,34	0,4—0,7	0,8—1,1	0,15—0,25 Mo	229
35ХМ	0,32—0,40	0,4—0,7	0,8—1,1	0,15—0,25 Mo	241
38ХВА	0,35—0,42	0,25—0,5	0,9—1,3	0,5—0,8 W	229
15ХФ	0,12—0,18	0,4—0,7	0,8—1,1	0,1—0,2 V	187
20ХФ	0,17—0,23	0,5—0,8	0,8—1,1	0,1—0,2 V	197
40ХФА	0,37—0,44	0,5—0,8	0,8—1,1	0,1—0,2 V	241
15НМ	0,1 —0,18	0,4—0,7	⩽0,3	1,5—1,9 Ni 0,2—0,3 Mo	197

Продолжение табл. 41

Марка	Содержание элементов в %				Твердость *HB*, не более
	C	Mn	Cr	Прочие	
20НМ	0,17—0,25	0,4—0,7	⩽0,3	1,5—2,0 Ni 0,2—0,3 Mo	197 —
20ХН	0,17—0,23	0,4—0,7	0,45—0,75	1,0—1,4 Ni	197
40ХН	0,36—0,45	0,5—0,8	0,45—0,75	1,0—1,4 Ni	217
45ХН	0,41—0,49	0,5—0,8	0,45—0,75	1,0—1,4 Ni	207
50ХН	0,46—0,54	0,5—0,8	0,45—0,75	1,0—1,4 Ni	207
12ХН2	0,09—0,16	0,3—0,6	0,6—0,9	1,5—1,9 Ni	207
12ХН3А	0,09—0,16	0,3—0,6	0,6—0,9	2,8—3,2 Ni	217
12Х2Н4А	0,09—0,16	0,3—0,6	1,25—1,65	3,3—3,7 Ni	269
20ХН3А	0,17—0,24	0,3—0,6	0,6—0,9	2,8—3,2 Ni	241
20Х2Н4А	0,16—0,22	0,3—0,6	1,25—1,65	3,3—3,7 Ni	269
30ХН3А	0,27—0,34	0,3—0,6	0,6—0,9	2,8—3,2 Ni	241
34ХН1М**	0,3 —0,4	0,5—0,8	1,3—1,7	1,3—1,7 Ni, 0,2—0,3 Mo	—
34ХН2М**	0,3 —0,4	0,5—0,8	0,8—1,2	1,75—2,25 Ni, 0,25—0,4 Mo	—
34ХН3М**	0,3 —0,4	0,5—0,8	0,7—1,1	2,75—3,25 Ni, 0,25—0,4 Mo	—
36ХН1МФА**	0,32—0,4	0,3—0,5	1,3—1,7	1,3—1,7 Ni, 0.3—0,4 Mo, 0,08—0,15 V	—
45ХНМФА**	0,42—0,5	0,5—0,8	0,8—1,1	1,3—1,8 Ni, 0,2—0,3 Mo, 0,1—0,2 V	—
30ХНВА	0,27—0,34	0,3—0,6	0,6—0,9	1,25—1.65 Ni, 0,5—0,8 W	241
38ХНВА	0,34—0,42	0,3—0,6	1,3—1,7	1,25—1,65 Ni, 0,5—0,8 W	269
40ХНВА	0,37—0,44	0,5—0,8	0,6—0,9	1,25—1,65 Ni, 0,8—1,2 W	269
40ХНМА	0,37—0,44	0,5—0,8	0,6—0,9	1,25—1,65 Ni, 0,15—0,25 Mo	269
30Х2НВА	0,27—0,34	0,3—0,6	1,6—2,0	1,4—1,8 Ni, 1,2—1,6 W	269
38ХН3ВА	0,34—0,42	0,25—0,55	0,8—1,2	2,75—3,25 Ni, 0,5—0,8 W	269
18Х2Н4ВА	0,14—0,2	0,25—0,55	1,35—1,65	4,0—4,4 Ni, 0,8—1,2 W	269
25Х2Н4ВА	0,21—0,28	0,25—0,55	1,35—1,65	4,0—4,4 Ni, 0,8—1,2 W	269
30ХН2ВФА	0,27—0,34	0,3—0,6	0,6—0,9	2,0—2,4 Ni, 0,5—0,8 W, 0,15—0,3 V	269
30Х2НВФА	0,27—0,34	0,3—0,6	1,6—2,0	1,4—1,8 Ni, 1,2—1,6 W, 0,18—0,28 V	269

Продолжение табл. 41

Марка	Содержание элементов в %				Твердость *HB* не более
	C	Mn	Cr	Прочие	
38ХН3ВФА.	0,34—0,42	0,25—0,55	1,0—1,4	3,0—3,4 Ni, 0,5—0,8 W, 0,1—0,2 V	269
20ХН4ФА	0,17—0,24	0,25—0,55	0,7—1,1	3,75—4,15 Ni, 0,15—0,3 V	269
38ХН3МФА	0,34—0,42	0,25—0,55	1,2—1,5	3,0—3,4 Ni, 0,35—0,45 Mo, 0,1—0,2 V	269
15ХГНТ***	0,12—0,18	0,7—1,0	0,7—1,0	0,06—0,12 Ti, 1,4—1,8 Ni	229
15Х2ГН2Т***	0,12—0,18	0,7—1,0	1,4—1,8	0,06—0,12 Ti, 1,4—1,8 Ni	269
15Х2ГН2ТРА	0,12—0,18	0,7—1,0	1,4—1,8	0,002—0,005 B, 0,06—0,12 Ti, 1,4—1,8 Ni	269
18ХГН	0,16—0,22	0,8—1,1	0,4—0,7	0,4—0,7 Ni	225
25Х2ГНТА	0,22—0,29	0,8—1,1	1,3—1,7	0,9—1,3 Ni, 0,06—0,12 Ti	269
30ХГНА	0,28—0,35	0,6—0,9	0,9—1,2	0,3—0,6 Ni	229
38ХГН	0,35—0,43	0,8—1,1	0,5—0,8	0,7—1,0 Ni	229
30Х2ГН2	0,26—0,34	0,8—1,1	1,4—1,7	1,4—1,8 Ni	255
16ХСН	0,13—0,2	0,3—0,6	0,8—1,1	0,6—0,9 Ni, 0,6—0,9 Si	197
18ХСНРА	0,16—0,21	0,6—0,9	0,8—1,1	0,8—1,1 Ni, 0,6—0,9 Si, 0,002—0,005 B	197
20ХГСА	0,17—0,23	0,8—1,1	0,8—1,1	0,9—1,2 Si	207
25ХГСА	0,22—0,28	0,8—1,1	0,8—1,1	0,9—1,2 Si	217
30ХГСА	0,28—0,34	0,8—1,1	0,8—1,1	0,9—1,2 Si	229
30ХГСНА	0,27—0,34	1,0—1,3	0,9—1,2	0,9—1,2 Si, 1,4—1,8 Ni	255
35ХГСА	0,32—0,39	0,8—1,1	1,1—1,4	1,1—1,4 Si	241
38ХЮ	0,35—0,43	0,2—0,5	1,5—1,8	0,5—0,8 Al	229
38ХМЮА	0,35—0,42	0,3—0,6	1,35—1,65	0,15—0,25 Mo, 0,7—1,1 Al	229

Продолжение табл. 41

Марка	Содержание элементов в %				Твердость *HB*, не более
	C	Mn	Cr	Прочие	
38ХВФЮ	0,35—0,43	0,2—0,4	1,5—1,8	0,2—0,4 W, 0,4—0,7 Al, 0,1—0,2 V	229
13Н2ХА	0,09—0,16	0,3—0,6	0,2—0,5	1,7—2,1 Ni	207
20ХГНР***	0,16—0,23	0,7—1,0	0,7—1,1	0,8—1,1 Ni, 0,002—0,005 B	—
15ХГНР***	0,11—0,17	0,8—1,1	0,8—1,1	0,8—1,1 Ni, 0,003 B	—
14ХГ2СР***	0,11—0,17	1,6—2,0	0,6—0,9	0,5—0,8 Si, 0,0005—0,003 B	—
14ХГ2НР***	0,11—0,17	1,6—2,0	0,6—0,9	0,6—0,9 Ni, 0,0005—0,003 B	269
15Х2Г2СВ***	0,12—0,17	1,8—2,2	1,8—2,2	0,7—1,1 Si, 0,8—1,2 W	—
15ХНГ2В***	0,12—0,18	1,8—2,2	1,15—1,45	1,0—1,3 Ni, 0,8—1,2 W	—
35Х2ГСВ***	0,32—0,38	0,9—1,2	1,4—1,8	0,6—1,0 Si, 0,7—1,1 W	269

* Стали выпускаются также повышенного качества, например 15ХА, 15ХРА и т. д.

** Стали выпускаются по ТУ.

*** Стали разработаны и предложены НИИМ и рядом заводов Челябинского СНХ взамен некоторых дефицитных марок по ГОСТ 4543-61:

15ХГНР $\frac{\text{ЧМТУ}}{\text{ЦНИИЧМ}}$ 387-60 взамен сталей 12ХН3А;

14ХГ2НР, 14ХГ2СР $\frac{\text{ЧМТУ}}{\text{ЦНИИЧМ}}$ 388-60 взамен сталей 12Х2Н4А; 12ХН3А;

15ХНГ2В $\frac{\text{ЧМТУ}}{\text{ЦНИИЧМ}}$ 386-60, 15Х2Г2СВ ВСТУ 621-60 взамен сталей 20Х2Н4А; 18Х2Н4ВА;

35Х2ГСВА ВСТУ 622-60 взамен сталей 30Х2ГН2; 30ХН3А; 40ХНМА; 45ХНМФА.

Таблица 42

Химический состав и твердость рессорно-пружинной стали (ГОСТ 2052-53)

Марка стали	Содержание элементов в %				Твердость *HB* в неотожженном состоянии, не более
	C	Si	Mn	Прочие	
65	0,6—0,7	0,17—0,37	0,5—0,8	—	255
70	0,65—0,75	0,17—0,37	0,5—0,8	—	269
75	0,72—0,80	0,17—0,37	0,5—0,8	—	285
85	0,82—0,90	0,17—0,37	0,5—0,8	—	302
55ГС	0,52—0,60	0,5—0,8	0,6—0,9	—	285
65Г	0,6—0,7	0,17—0,37	0,9—1,2	—	269
50С2	0,47—0,55	1,5—2,0	0,6—0,9	—	285
55С2	0,52—0,60	1,5—2,0	0,6—0,9	—	285
60С2	0,57—0,65	1,5—2,0	0,6—0,9	—	302
60С2А	0,56—0,64	1,6—2,0	0,6—0,9	—	302
63С2А	0,60—0,65	1,8—2,2	0,6—0,9	—	302
70С3А	0,66—0,74	2,4—2,8	0,6—0,9	—	302
70С2ХА (ЭИ142)	0,65—0,75	1,4—1,7	0,4—0,6	Cr 0,2—0,4	—
50ХГ	0,46—0,54	0,17—0,37	0,7—1,0	Cr 0,9—1,2	302
50ХГА	0,46—0,54	0,17—0,37	0,8—1,0	Cr 0,95—1,2	302
50ХФА	0,46—0,54	0,17—0,37	0,5—0,8	Cr 0,8—1,1 V 0,1—0,2	302

Продолжение табл. 42

Марка стали	Содержание элементов в %				Твердость *HB* в неотожженном состоянии, не более
	C	Si	Mn	Прочие	
50ХГФА	0,48—0,55	0,17—0,37	0,8—1,0	Cr 0,95—1,2 V 0,15—0,25	321
60С2ХФА	0,56—0,64	1,4—1,8	0,4—0,7	Cr 0,9—1,2 V 0,1—0,2	302
60С2ХА	0,56—0,64	1,4—1,8	0,4—0,7	Cr 0,7—1,0	321
65С2ВА	0,61—0,69	1,5—2,0	0,7—1,0	W 0,8—1,2	302
60С2Н2А	0,56—0,64	1,4—1,8	0,4—0,7	Ni 1,4—1,7	302
55СГ	0,5—0,6	1,3—1,8	0,8—1,0	—	285
60СГ	0,55—0,65	1,3—1,8	0,8—1,0	—	285
60СГА	0,56—0,64	1,3—1,8	0,8—1,0	—	285

Примечания. 1. Сталь 70С2ХА (ЭИ142) поставляется в виде ленты. 2. Высококачественная сталь отличается от качественной также уменьшенным количеством серы и фосфора.

Таблица 43

Химический состав и твердость шарикоподшипниковой стали
(ГОСТ 801-60 и 808-49)

Марка стали	Содержание элементов в %				Твердость по Бринелю *HB*
	C	Mn	Cr	Si	
ШХ6	1,05—1,15	0,2—0,4	0,4—0,7	0,17—0,35	179—207
ШХ9	1,0—1,1	0,2—0,4	0,9—1,2	0,17—0,35	179—207
ШХ15	0,95—1,05	0,2—0,4	1,3—1,65	0,17—0,35	179—207
ШХ15СГ	0,95—1,05	0,9—1,2	1,3—1,65	0,4—0,65	179—217
ШХ10	0,32—0,42	0,4—0,7	0,8—1,2	0,17—0,37	

Примечания. 1. В стали ШХ10 серы и фосфора содержится не более, чем по 0,03 %. В остальных марках серы не более 0,027 %, а фосфора—0,02 %. 2. Содержание никеля допускается до 0,3 %, меди до 0,25 % и в сумме—до 0,5 %.

Таблица 44

Низкоуглеродистая электротехническая сталь

Марка	Содержание элементов в %, не более						Стандарт или ТУ
	C	Mn	Si	P	S	Cu	
А	0,025	0,035	0,03	0,015	0,025	0,15	ЧМТУ 2900-56
Э, ЭА, ЭАА	0,04	0,2	0,2	0,025	0,03	0,15	ГОСТ 3836-47

Примечание. Различие между марками устанавливается путем проверки после отжига магнитных свойств. Коэрцитивная сила должна быть для стали «Э» не более 1,2 *э*, для стали ЭА не более 1,0 *э*, для стали ЭАА не более 0,8 *э*, для прутков из стали А не более 1,25 *э*.

Таблица 45

Электротехническая тонколистовая сталь

(ГОСТ 802-58)

Марка стали	Содержание кремния в %	Степень легированности
Э11, Э12, Э13, Э1100, Э1200, Э1300	0,8—1,8	Слаболегированная
Э21, Э22	1,8—2,8	Среднелегированная
Э31, Э32, Э3100, Э3200, Э310, Э320, Э330, Э330А	2,8—3,8	Повышеннолегированная
Э41, Э42, Э43, Э43А, Э44, Э45, Э46, Э47, Э48	3,8—4,8	Высоколегированная

Примечание. Расшифровка марки стали производится так: Э—электротехническая; первая цифра—степень легированности кремнием; вторая цифра—гарантированные электрические и магнитные свойства; буква А после цифры обозначает особо низкие удельные потери; третья цифра 0 обозначает, что сталь холоднокатаная, текстурованная; третья и четвертая цифры 00 обозначают, что сталь холоднокатаная, малотекстурованная.

Таблица 46

Сплавы со специальными магнитными свойствами

Сплав	Среднее содержание основных элементов в %		
	Ni	Co	Fe
Пермендюр	—	50	50
»		49	49
Перминвар	45	25	29,4
»	70	7	22,4
»	45	25	21,9
Изоперм	50	—	50
»	36	—	55

Железоникелевые сплавы — пермаллои с содержанием никеля от 40 до 80%, отличающиеся весьма высокой магнитной проницаемостью в слабых полях и низкой коэрцитивной силой, выпускаются согласно ЧМТУ 5010-50. В качестве легирующих добавок в пермаллои вводят хром — примерно 2—4%, молибден 3—5%, медь до 6% и другие в зависимости от назначения сплава.

Таблица 47

Химический состав и твердость в состоянии поставки магнитной стали (ГОСТ 6862-54)

Марка стали	Содержание элементов в %						Твердость *HB*
	C	Cr	W	Co	Mo	Прочие	
ЕХ	0,95—1,10	1,3—1,6	—	—	—	Mn 0,2—0,4; Si 0,17—0,4; S ⩽ 0,02; P ⩽ 0,03	217—241
ЕХ3	0,9—1,1	2,8—3,6	—	—	—		229—285
Е7В6	0,68—0,78	0,3—0,5	5,2—6,2	—	—		255—321
ЕХ5К5	0,90—1,05	5,5—6,5	—	5,5—6,5	—		269—341
ЕХ9К15М	0,90—1,05	8,0—10,0	—	13,5—16,5	1,2—1,7		285—341

Примечание. Сталь, имеющая отклонения по химическому составу, может сдаваться при условии соответствия ее свойств всем установленным для нее нормам.

Таблица 48

Химический состав литых постоянных магнитов (ГОСТ 4402-48)

Марка сплава		Содержание элементов в %							
новая	старая	Ni	Al	Co	Cu	Si	C (не более)	Mn (не более)	Fe
АН1	АЛНИ1	22	11	—	—	—	—	—	Остальное
АН2	АЛНИ2	24,5	13	—	3,5	0,15	—	—	»
АН3	АЛНИ3	23,5	15,5	—	4				
АНК	АЛНИСИ	33	13,5	—	—	1	0,03	0,35	»
АНКо1	АЛНИКО12	18	10	12	6				
АНКо2	АЛНИКО15	20	9	15	4	0,15	—	—	»
АНКо3	АЛНИКО18	19	10	18	3				
АНКо4	АЛНИКО24 (МАГНИКО)	13,5	9	24	3				

Химический состав сплавов с особыми упругими свойствами

Марка сплава	Содержание элементов в %							Стандарт или ТУ
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Ti	Прочие	
36НХТЮ* (ЭИ702)	0,05	0,5	0,8—1,2	34—36	11—13	2,8—3,2	Al 0,6—0,8	ТУС 5834-57
ЭП52 (Н36ХТЮМ8)	0,05	0,6	0,8—1,2	34—36	11—13	2,8—3,2	Al 1,0	ЧМТУ 5834-57
ЭИ25*	⩽0,4	⩽0,5	0,3—0,8	36,5—38,5	7,3—8,3	—	—	ЧМТУ 2913-51
ЭИ574*	0,7—0,8	⩽0,5	2—3	33—35	7—9	—	W 2—4	ТУ 639
Н35ХМВ*	1,14—1,26	0,2—0,4	0,8—0,9	34,3—35,7	8,5—9,5	—	W 0,55—0,85, Mo 1,8—2.2	ТУ 5045-55
Н41ХТ*	0,05	0,56	1,1	42,58	5,37	3	Al 0,6,	ТУ 679-54
ЭП51 (Н36ХТЮМ5)	0,05	0,6	0,8—1,2	34—36	11—13	2,8—3,2	Mo 5,5—6,0,	—

* Остальное — Fe.

Таблица 50

Химический состав немагнитных сталей

Марка стали	Содержание элементов в %				
	C	Mn	Sl	Cr	Ni
Н24Х2	0,25—0,35	0,7	0,25—0,6	2—3	22—25
Н12ХГ	0,5—0,6	4—5,5	⩽0,6	3—4,5	11,5—13,5
5529Н9	0,45—0,55	8—9	0,17—0,37	0,2	8—9
ЭИ269	0,5—0,6	4—5,5	⩽0,6	⩽0,25	18,5—21,5
ЭИ423	0,6—0,7	8—9	0,2—0,4	2,5—3,2	8—9
ЭИ429	0,15—0,25	6—7	⩽0,5	11—15	10—13

Сталь высокой износоустойчивости **Г13** имеет в своем составе: 1,01—1,3% C; 10,0—14,0% Mn; 0,5% Si; 0,03% S; 0,03% P.

Таблица 51

Примерный химический состав сплавов с особыми характеристиками термического расширения

Сплав	Марка	Технические условия	Содержание элементов в %			
			Ni	Co	Cr	Fe
Инвар	Н36	ТУС7006	36	—	—	Остальное
Супер-инвар	Н36А	ЧМТУ				
	Н31К5	3722-53	30—32	4—6	—	Остальное
	ЭИ630А	ЧМТУ		—	—	—
		5626-56	—		—	—
Ковар	Н29К	—	—		—	—
	Н30КД	—	—		—	—

Таблица 52

Твердость иержавеющей стали, поставляемой в отожженном состоянии

Марка стали	Твердость *НВ*	
	Диаметр отпечатка в *мм*	Чнсло твердости
0Х13	4,5—5,5	116—179
1Х13	4,4—5,4	121—187
2Х13	4,3—5,3	126—197
3Х13	4,2—5,2	131—207
4Х13	4,0—5,0	143—229
Х17	4,3—5,3	126—197
9Х18	Не менее 3,8	Не более 255
1Х17Н2	Не менее 3,6	Не более 286

Таблица 58

Химический состав коррозионностойких жаростойких и жаропрочных сталей и сплавов (ГОСТ 5632-61)

Марка стали или сплава	Содержание элементов в %					Прочие
	C	Si	Mn	Cr	Ni	
Стали мартенситного класса						
X5	⩽0,15	⩽0,5	⩽0,5	4,5—6,0	—	—
X5M	⩽0,15	⩽0,5	⩽0,5	4,5—6,0	—	Mo 0,45—0,6
X5ВФ	⩽0,15	0,3—0,6	⩽0,5	4,5—6,0	—	W 0,4—0,7
X6CM	⩽0,15	1,5—2,0	⩽0,7	5,0—6,0	—	Mo 0,45—0,6
1X8ВФ	0,08—0,15	⩽0,6	⩽0,5	7,0—8,5	—	W 0,6—1,0, V 0,3—0,5
4X9C2 (ЭСХ18)	0,35—0,45	2,0—3,0	⩽0,7	8,0—10,0	—	—
4X10C2M (ЭИ107)	0,35—0,45	1,9—2,6	⩽0,7	9,0—10,5	—	Mo 0,7—0,9
1X12Н2ВМФ (ЭИ961)	0,1—0,16	0,6	⩽0,6	10,5—12,0	1,5—1,8	W 1,6—2,0, Mo 0,35—0,5, V 0,18—0,3
2X13	0,16—0,24	⩽0,6	⩽0,6	12,0—14,0	—	—
3X13	0,25—0,34	⩽0,6	⩽0,6	12,0—14,0	—	—
4X13	0,35—0,44	⩽0,6	⩽0,6	12,0—14,0	—	—
3X13Н7C2 (ЭИ72)	0,25—0,34	2,0—3,0	⩽0,7	12,0—14,0	6,0—7,5	—
1X13Н3	0,08—0,15	⩽0,6	⩽0,6	12,5—14,5	2,2—3,0	—
1X17Н2	0,11—0,17	⩽0,8	⩽0,8	16,0—18,0	1,5—2,5	—
9X18 (ЭИ229)	0,9—1,0	⩽0,8	⩽0,7	17,0—18,0	—	—
Сталь мартенсито-ферритного класса						
X6CIO (ЭИ428)	⩽0,15	1,2—1,8	⩽0,5	5,5—7,0	—	Al 0,7—1,1
1X11МФ	0,12—0,19	⩽0,5	⩽0,7	10,0—11,5	—	Mo 0,6—0,8, V 0,25—0,4
1X12ВНМФ (ЭИ802)	0,12—0,18	⩽0,4	0,5—0,9	11,0—13,0	0,4—0,8	W 0,7—1,1, Mo 0,5—0,7, V 0,15—0,3

Продолжение табл. 53

Марка стали или сплава	Содержание элементов в %					Прочие
	C	Si	Mn	Cr	Ni	
2Х12ВМБФР (ЭИ993)	0,15—0,22	⩽0,5	11,0—13,0	11,0—13,0	—	W 0,4—0,7, Mo 0,4—0,6, Nb 0,2—0,4, V 0,15—0,3, B ⩽ 0,003
1Х12В2МФ (ЭИ756)	0,1—0,17	⩽0,5	0,5—0,8	11,0—13,0	—	W 1,7—2,2, Mo 0,6—0,9, V 0,15—0,3
1Х13	0,09—0,15	⩽0,6	⩽0,6	12,0—14,0	—	—
Сталь ферритного класса						
1Х12СЮ (ЭИ404)	0,07—0,12	1,2—2,0	⩽0,7	12,0—14,0	—	Al 1,0—1,8
0Х13 (ЭИ496)	⩽0,08	⩽0,6	⩽0,6	11,0—13,0	—	—
Х14 (ЭИ241)	⩽0,15	⩽0,7	⩽0,7	13,0—15,0	—	—
Х17	⩽0,12	⩽0,8	⩽0,7	16,0—18,0	—	—
0Х17Т (ЭИ645)	⩽0,08	⩽0,8	⩽0,7	16,0—18,0	—	Ti 5·C —0,8
Х18СЮ (ЭИ484)	⩽0,15	1,0—1,5	⩽0,5	17,0—20,0	—	Al 0,7—1,2
Х25Т (ЭИ439)	⩽0,15	⩽1,0	⩽0,8	24,0—27,0	—	Ti 5·C —0,8
Х28 (ЭИ349)	⩽0,15	⩽1,0	⩽0,8	27,0—30,0	—	—
Стали аустенитно-мартенситного класса						
2Х13Н4Г9 (ЭИ100)	0,15—0,3	⩽0,8	8,0—10,0	12,0—14,0	3,7—4,7	—
Х15Н9Ю (ЭИ904)	⩽0.09	⩽0,8	⩽0,8	14,0—16,0	7,0—9,4	Al 0,7—1,3
Х17Н7Ю (ЭИ973)	⩽0 09	⩽0,8	⩽0,8	16,0—18,0	6,5—7,5	Al 0,8—1,3
2Х17Н2	0,22—0,28	⩽0,8	⩽0,8	16,0—18,0	1,5—2,5	—

Продолжение табл. 53

Марка стали или сплава	Содержание элементов в %					Прочие
	C	Si	Mn	Cr	Ni	
Стали аустенитно-ферритного класса						
0Х20Н14С2 (ЭИ732)	≤0,08	2,0—3,0	≤1,5	19,0—22,0	12,0—15,0	—
Х20Н14С2 (ЭИ211)	≤0,2	2,0—3,0	≤1,5	19,0—22,0	12,0—15,0	—
0Х21Н5Т (ЭП53)	≤0,08	≤0,8	≤0,8	20,0—22,0	4,8—5,8	Ti 0,3—0,6
0Х21Н6М2Т (ЭП54)	≤0,08	≤0,8	≤0,8	20,0—22,0	5,5—6,5	Ti 0,2—0,4, Mo 1,8—2,5
1Х21Н5Т (ЭИ811)	0,09—0,14	≤0,8	≤0,8	20,0—22,0	4,8—5,8	Ti (C—0,02) 5—0,8
Х23Н13 (ЭИ319)	≤0,2	≤1,0	≤2,0	22,0—22,0	12,0—15,0	—
Х28АН (ЭИ657)	≤0,15	≤1,0	≤1,5	25,0—28,0	1,0—1,7	—
Стали аустенитного класса						
4Х12Н8Г8МФБ (ЭИ481)	0,34—0,4	0,3—0,8	7,5—9,5	11,5—13,5	7,0—9,0	Mo 1,1—1,4, Nb 0,25—0,45, V 1,25—1,55
0Х10Н20Т2	≤0,08	≤0,8	≤2,0	10,0—12,0	18,0—20,0	Ti 1,5—2,5, Al≤1,0
Х12Н20Т3Р (ЭИ696)	≤0,1	≤1,0	≤1,0	10,0—12,5	18,0—21,0	Ti 2,6—3,2, Al≤0,8, B 0,008—0,02
Х12Н22Т3МР (ЭП33)	≤0,1	≤0,6	≤0,6	10,0—12,5	21,0—25,0	Ti 2,6—3,2, Al≤0,8, Mo 1,0—1,6, B≤0,02
1Х14Н16Б (ЭИ694)	0,07—0,12	≤0,6	1,0—2,0	13,0—15,0	14,0—17,0	Nb 0,9—1,3
1Х14Н16БР (ЭИ694Р)	0,07—0,12	≤0,6	1,0—2,0	13,0—15,0	14,0—17,0	Nb 0,9—1,3, B≤0,005
1Х14Н18В2Б (ЭИ695)	0,07—0,12	≤0,6	1,0—2,0	13,0—15,0	18,0—20,0	W 2,0—2,75, Nb 0,9—1,3

Продолжение табл. 53

Марка стали или сплава	Содержание элементов в %					Прочие
	C	Si	Mn	Cr	Ni	
1Х14Н18В2БР (ЭИ695Р)	0,07—0,12	⩽0,6	1,0—1,2	13,0—15,0	18,0—20,0	W 2,0—2,75, Nb 0,9—1,3, B⩽0,005, Ce<0,02
1Х14Н18В2БР1 (ЭИ726)	0,07—0,12	⩽0,6	1,0—2,0	13,0—15,0	18,0—20,0	W 2,0—2,75, Nb 0,9—1,3, B⩽0,025, Ce⩽0,02
Х14Г14Н	⩽0,12	⩽0,8	13,0—15,0	13,0—15,0	1,0—1,5	—
Х14Г14Н3Т (ЭИ711)	⩽0,1	⩽0,8	13,0—15,0	13,0—15,0	2,5—3,5	Ti (C—0,02)—0,6
4Х14Н14В2М (ЭИ69)	0,4—0,5	⩽0,8	⩽0,7	13,0—15,0	19,0—15,0	W 2,0—2,75, Mo 0,25—0,4
4Х15Н7Г7Ф2МС (ЭИ388)	0,38—0,47	0,9—1,4	6,0—8,0	14,0—16,0	6,0—8,0	Mo 0,65—0,95, V 1,5—1,9
0Х14Н28В3Т3ЮР (ЭИ786)	⩽0,08	⩽0,6	⩽0,6	13,0—15,0	26,0—29,0	Ti 2,4—3,2, Al 0,5—1,2, W 2,8—3,5, B⩽0,02
1Х16Н13М2Б (ЭИ680)	0,06—0,12	⩽0,8	⩽1,0	15,0—17,0	12,5—14,5	Mo 2,0—2,5, Nb 0,9—1,3
Х16Н15М3Б (ЭИ847)	⩽0,09	⩽0,8	⩽0,6	15,0—17,0	14,0—16,0	Mo 2,5—3,0, Nb 0,6—0,9
Х17Г9АН4 (ЭИ878)	⩽0,12	⩽0,8	8,0—10,5	16,0—18,0	3,5—4,5	N_2 0,15—0,25
Х17Н13М2Т (ЭИ448)	⩽0,1	⩽0,8	1,0—2,0	16,0—18,0	12,0—14,0	Ti 0,3—0,6, Mo 1,8—2,5
Х17Н13М3Т (ЭИ432)	⩽0,1	⩽0,8	1,0—2,0	16,0—18,0	12,0—14,0	Ti 0,3—0,6, Mo 3,0—4,0
0Х17Н16М3Т (ЭИ580)	⩽0,08	⩽0,8	1,0—2,0	16,0—18,0	15,0—17,0	Ti 0,3—0,6, Mo 2,0—3,5
Х17АГ14 (ЭП213)	⩽0,15	⩽0,8	13,5—15,5	16,0—18,0	0,6	N_2 0,3—0,4
00Х18Н10 (ЭИ842)	⩽0,04	⩽0,8	1,0—2,0	17,0—19,0	9,0—11,0	—

Марка сплава или стали	Содержание элементов в %					Прочие
	C	Si	Mn	Cr	Ni	
0Х18Н10 (0Х18Н9)	⩽0,08	⩽0,8	1,0—2,0	17,0—19,0	9,0—11,0	—
Х18Н9 (1Х18Н9)	⩽0,12	⩽0,8	1,0—2,0	17,0—19,0	8,0—10,0	—
2Х18Н9	0,13—0,21	⩽0,8	1,0—2,0	17,0—19,0	8,0—10,0	—
Х18Н10Е (ЭИ453)	⩽0,12	⩽0,8	1,0—2,0	17,0—19,0	9,0—11,0	Se или Te 0,18—0,35
0Х18Н10Т (ЭИ914)	⩽0,08	⩽0,8	1,0—2,0	17,0—19,0	9,0—11,0	Ti —0,6
Х18Н10Т (1Х18Н9Т)	⩽0,12	⩽0,8	1,0—2,0	17,0—19,0	9,0—11,0	Ti (C—0,02)·5—0,7
Х18Н9Т (1Х18Н9Т)	⩽0,12	⩽0,8	1,0—2,0	17,0—19,0	8,0—9,5	Ti (C—0,02)·5—0,7
0Х18Н11 (ЭИ684)	⩽0,06	⩽0,8	1,0—2,0	17,0—19,0	10,0—12,0	—
0Х18Н12Т	⩽0,08	⩽0,8	1,0—2,0	17,0—19,0	11,0—13,0	Ti 5 · C—0,6
Х18Н12Т	⩽0,12	⩽0,8	1,0—2,0	17,0—19,0	11,0—13,0	Ti (C—0,02)·5—0,7
0Х18Н12Б (ЭИ402)	⩽0,08	⩽0,8	1,0—2,0	17,0—19,0	11,0—13,0	Nb 8·C—1,2
4Х18Н25С2	0,32—0,4	2,0—3,0	⩽1,5	17,0—19,0	23,0—26,0	—
3Х19Н9МВБТ (ЭИ572)	0,28—0,35	⩽0,8	0,8—1,5	18,0—20,0	8,0—10,0	Ti 0,2—0,5, W 1,0—1,5, Mo 1,0—1,5, Nb 0,2—0,5
0Х23Н18	⩽0,1	⩽1,0	⩽2,0	22,0—25,0	17,0—20,0	—
Х23Н18 (ЭИ417)	⩽0,2	⩽1,0	⩽2,0	22,0—25,0	17,0—20,0	—
0Х23Н28М2Т (ЭИ628)	⩽0,06	⩽0,8	⩽0,8	22,0—25,0	26,0—29,0	Ti 0,4—0,7 Mo 1,8—2,5
0Х23Н28М3Д3Т (ЭИ943)	⩽0,06	⩽0,8	⩽0,8	22,0—25,0	26,0—29,0	Ti 0,4—0,7, Mo 2,5—3,0, Cu 2,5—3,5
Х25Н16Г7АР (ЭИ835)	⩽0,12	⩽1,0	5,0—7,0	23,0—26,0	15,0—18,0	N_2 0,3—0,45, B⩽0,02
Х25Н20С2 (ЭИ283)	⩽0,2	2,0—3,0	⩽1,5	24,0—27,0	18,0—21,0	—
1Х25Н25ТР (ЭИ813)	0,07—0,12	⩽0,8	1,0—2,0	23,0—26,0	24,0—27,0	Ti 1,1—1,6, B⩽0,01

Марка стали или сплава	Содержание элементов в %					Прочие
	C	Si	Mn	Cr	Ni	
Сплавы на железо-никелевой основе						
ХН35ВМТ (ЭИ692)	⩽0,12	⩽0,6	⩽1,0	14,0—16,0	32,0—36,0	W 2,3—3,0, Mo 2,0—3,0, B 0,02, Ce 0,025
ХН35ВТ (ЭИ612)	⩽0,12	⩽0,6	1,0—2,0	14,0—16,0	34,8—38,0	Ti 1,1—1,5, W 2,8—3,5
ХН35ВТЮ (ЭИ787)	⩽0,08	⩽0,6	⩽0,6	14,0—16,0	33,0—37,0	Ti 2,4—3,2, Al 0,7—1,4, W 2,8—3,5, B⩽0,02
ХН35ВТР (ЭИ725)	⩽0,1	⩽0,6	⩽1,0	14,0—16,0	35,0—38,0	Ti 1,1—1,5, W 4,0—5,0, B⩽0,05, C⩽0,025
ХН38ВТ (ЭИ703)	0,06—0,12	⩽0,8	⩽0,7	20,0—23,0	35,0—39,0	Ti 0,7—1,2, Al ⩽ 0,5, W 2,8—3,5
Сплавы на никелевой основе						
ХН60Ю (ЭИ559А)	⩽0,1	⩽0,8	⩽0,3	15,0—18,0	55,0—58,0	Al 2,6—3,5, Ba⩽0,1, Ce⩽0,003
ХН70ВМЮТ (ЭИ765)	0,1—0,16	⩽0,6	⩽0,5	14,0—16,0	Остальное	Ti 1,0—1,4, Al 1,7—2,2, W 4,0—6,0, Mo 3,0—5,0, B⩽0,01, Fe ⩽ 3,0
ХН70ВМТЮ (ЭИ617)	⩽0,12	⩽0,6	⩽0,5	13,0—16,0	»	Ti 1,8—2,3, Al 1,7—2,3, W 5,0—7,0, Mo 2,0—4,0, V 0,1—0,5, B⩽0,02, Ce⩽0,02, Fe⩽5,0

Марка стали или сплава	Содержание элементов в %					Прочие
	C	Si	Mn	Cr	Ni	
ХН80ТБЮ (ЭИ607)	⩽0,08	⩽0,8	⩽1,0	15,0—18,0	Остальное	Ti 1,8—2,3, Al 0,5—1,0, Nb 1,0—1,5 Fe⩽3,0
ХН70МВТЮБ (ЭИ598)	⩽0,12	⩽0,6	⩽0,5	16,0—19,0	»	Ti 1,9—2,8, Al 1,0—1,7, W 2—0—3,5, Mo 4,0—6,0, Nb 0,5—1,3, B⩽0,01, Ce⩽0,02, Fe⩽5,0
ХН67ВМТЮ (ЭИ445Р)	⩽0,08	⩽0,6	⩽0,5	17,0—20,0	»	Ti 2,2—2,8, W 4,0—5,0, Mo 4,0—5,0 B⩽0,01, Ce⩽0,01, Al 1,0—1,5, Fe⩽4,0
ХН75МБТЮ (ЭИ602)	⩽0,1	⩽0,8	⩽0,4	19,0—22,0	»	Ti 0,35—0,75, Al 0,35—0,75, Mo 1,8—2,3, Nb 0,9—1,3, Fe⩽8,0
ХН78Т (ЭИ435)	⩽0,12	⩽0,8	⩽0,7	19,0—22,0	»	Ti 0,15—0,35, Al⩽0,15, Fe⩽6,0
ХН77ТЮ (ЭИ437А)	⩽0,06	⩽0,6	⩽0,4	19,0—22,0	»	Ti 2,3—2,7, Al 0,55—0,95, Fe⩽4,0, Ce⩽0,01
ХН77ТЮР (ЭИ137Б)	⩽0,06	⩽0,6	⩽0,4	19,0—22,0	»	Ti 2,3—2,7, Al 0,55—0,95, Fe⩽4,0, B⩽0,01, Ce⩽0,01
ХН60В (ЭИ868)	⩽0,1	⩽0,8	⩽0,5	23,5—26,5	»	Ti 0,3—0,7, Al 0,5, W 13,0—16,0, Fe 4,0
ХН70Ю (ЭИ652)	⩽0,1	⩽0,8	⩽0,3	26,0—29,0	»	Al 2,6—3,5, Fe⩽1,0, Ba⩽0,1, Ce⩽0,03
ХН70 (ЭИ442)	⩽0,07	⩽0,8	⩽0,5	28,0—31,0	»	Al⩽0,15, Fe⩽5,0

Химический состав сплавов, применяемых для электронагревателей

(ГОСТ 9232-59)

Марка	Содержание элементов в %							
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Al	Ti	Fe
	не более							
Х13Ю4	0,15	0,7	1,0	16,0—19,0	Не более 0,6	4,0—6,0	—	Остальное
0Х23Ю5	0,06	0,5	0,7	21,5—24,5	То же	4,5—5,5	—	»
0Х23Ю5А	0,05	0,3	0,6	21,5—23,5	»	4,5—5,2	—	»
0Х27Ю5А	0,05	0,3	0,6	26,0—28,0	»	5,0—5,8	—	»
Х15Н60	0,15	0,7	0,4—1,3	15,0—18,0	55,0—61,0	Не более 0,2	—	»
Х20Н80	0,15	0,7	0,4—1,3	20,0—23,0	75,0—78,0	Не более 0,2	—	Не более 1,0
Х20Н80Т3	0,08	0,5	Не более 1,0	19,0—23,0	Остальное	0,4—1,1	2,0—2,9	Не более 2,5

Таблица 55

Химический состав и твердость инструментальной углеродистой стали

(ГОСТ 1435-54)

Марка стали	Содержание элементов в %			Твердость *HB*, не более
	C	Mn	Прочие	
У7	0,65—0,74	0,20—0,40	0,15—0,35	187
У8	0,75—0,84	0,20—0,40	Не более 0,03	187
У8Г	0,80—0,90	0,35—0,60	Не более 0,035	187
У9	0,85—0,94	0,15—0,35		192
У10	0,95—1,04	0,15—0,35		197
У11	1,05—1,14	0,15—0,35		207
У22	1,15—1,24	0,15—0,35		207
У13	1,25—1,35	0,15—0,35		217

Высококачественная сталь при одинаковом содержании углерода отличается от качественной уменьшенным содержанием элементов: серы — до 0,02%; фосфора — до 0,03%; марганца и кремния в пределах 0,15—0,30%. Обозначается высококачественная сталь У7А, У8А и т. д.

Таблица 56

Химический состав и твердость инструментальной легнрованной стали

(ГОСТ 5950-51 и нормали)

Марка стали	Содержание элементов в %				Твердость *HB*
	C	Cr	W	Прочие	
7Х3	0,60—0,75	3,2—3,8	—	—	229—187
8Х3	0,76—0,85	3,2—3,8	—	—	255—207
65Х	0,60—0,70	0,50—0,75	—	—	⩽187
9Х	0,80—0,95	1,4—1,7	—	—	217—179
Х	0,95—1,10	1,3—1,6	—	—	229—187
Х09	0,95—1,10	0,75—1,05	—	—	229—179

Продолжение табл. 56

Марка стали	Содержание элементов в %				Твердость *HB*
	C	Cr	W	Прочие	
Х06 *	1,05—1,14	0,35—0,50	—	—	⩽207
Х05	1,25—1,40	0,4—0,6	—	—	241—197
Х12	2,00—2,30	11,5—13,0	—	—	269—217
Ф	0,95—1,05	—	—	V 0,2—0,4	217—179
В1	1,05—1,25	0,1—0,3	0,8—1,2	V 0,15—0,30	229—187
ХГ	1,3—1,5	1,3—1,6	—	Mn 0,45—0,70	241—197
4ХС	0,35—0,45	1,3—1,6	—	Si 1,2—1,6	207—170
6ХС	0,6—0,7	0,95—1,25	—	Si 0,6—1,0	229—187
ХГС	0,95—1,1	1,4—1,8	—	Si 0,5—1,0 Mn 0,8—1,2	225—207
ХГСВФ*	0,95—1,02	0,6—1,0	0,8—1,1	Si 0,7—1,0, V 0,08—0,15, Mn 0,70—1,0	⩽229
9ХС	0,85—0,95	0,95—1,25	—	Si 1,2—1,6	241—197
8ХФ	0,75—0,85	0,5—0,8	—	V 0,15—0,30	207—170
85ХФ	0,80—0,90	0,45—0,70	—	V 0,15—0,30	207—170
ХВ*	1,05—1,14	0,3—0,55	0,5—0,8	—	⩽207
Х6ВФ*	1,0—1,15	5,5—7,0	1,1—1,5	V 0,5—0,7	⩽229
4ХВ2С	0,35—0,44	1,0—1,3	2,0—2,5	Si 0,6—0,9	217—179
5ХВ2С	0,45—0,54	1,0—1,3	2,0—2,5	Si 0,5—0,8	255—207
6ХВ2С	0,55—0,65	1,0—1,3	2,2—2,7	Si 0,5—0,8	285—229
5ХВГ	0,55—0,70	0,5—0,8	0,5—0,8	Mn 0,9—1,2	217—179
9ХВГ	0,85—0,95	0,5—0,8	0,5—0,8	Mn 0,9—1,2	241—197
ХВГ	0,90—1,05	0,9—1,2	1,2—1,6	Mn 0,8—1,1	255—207

Продолжение табл. 56

Марка стали	Содержание элементов в %				Твердость *HB*
	C	Cr	W	Прочие	
3Х2В8	0,3—0,4	2,2—2,7	7,5—9,0	—	255—207
4Х8В2	0,35—0,45	7,0—9,0	2,0—3,0	—	255—207
ХВ5	1,25—1,50	0,4—0,7	4,5—5,5	V 0,15—0,30	285—229
Х12М	1,45—1,70	11,0—12,5	—	Mo 0,4—0,6 V 0,15—0,30	255—207
5ХНМ	0,5—0,6	0,5—0,8	—	Mo 0,15—0,30 Ni 1,4—1,8	241—197
5ХГМ	0,5—0,6	0,6—0,9	—	Mo 0,15—0,30	241—197
5ХНТ	0,5—0,6	0,6—0,9	—	Mn 1,2—1 6 Ni 1,4—1,8 Ti 0,1—0,2	235—192
5ХНС	0,5—0,6	1,3—1,6	—	Ni 0,8—1,3 Si 0,6—0,9	255—207
5ХНСВ	0,5—0,6	1,3—1,6	0,4—0,6	Ni 0,8—1,3 Si 0,6—0,9	255—207
5ХНВ	0,5—0,6	0,5—0,8	0,6—1,0	Ni 1,4—1,8	241—197
5ХГСВФ **	0,45—0,55	1,1—1,4	0,5—0,8	Mn 0,8—1,1 Si 0,5—0,9 V 0,1—0,2	241—207
5ХГСВФЮ **	0,45—0,55	1,1—1,4	0,5—0,8	Mn 0,8—1,1 Si 0,5—0,9 V 0,1—0,2 Al 0,35—0,7	241—207
Х12Ф1	1,45—1,70	11,0—12,5	—	V 0,7—0,9	255—207
65Х Ф*	0,6—0,7	0,45—0,70	—	V 0,15—0,3	207
9Х5ВФ *	0,85—1,00	4,5—5,5	0,8—1,2	V 0,1—0,2	241—196
8Х4В4Ф*(Р4)	0,75—0,85	4,5—5,5	4,5—5,5	V 0,8—1,2	255—217
4Х2В5ФМ *	0,35—0,45	2,0—3,0	4,5—5,5	V 0,6—1,0 Mo 0,6—1,0	220—180
4Х3ВФ *	0,4—0,5	2,8—3,2	1,0—1,5	V 0,5—0,8	255—170
4Х5В4ФМ *	0,35—0,45	4,0—5,0	3,5—4,2	V 0,3—0,6 Mo 0,4—0,6	255—170
4Х5В2ФС *	0,35—0,45	4,5—5,5	1,6—2,4	V 0,8—1,2	—

* Согласно проекту нового стандарта.

** Сталь выпускается по СТУ 30-6-61 Ленинградского совнархоза. Авторы М. А. Шахов, М. И. Бренман и М. М. Сандомирский.

Таблица 57

Химический состав и твердость быстрорежущих сталей
(ГОСТ 9373-60)

Марка стали	Содержание элементов в %						Твердость в отожженном состоянии *HB*
	C	Cr	W	V	Mo	Co	
Р9	0,85—0,95	3,8—4,4	8,5—10,0	2,0—2,6	⩽0,3	—	255—207
Р9Ф5	1,4—1,5	3,8—4,4	9,0—10,5	4,3—5,1	⩽0,4	—	⩽293
Р10К5Ф5	1,45—1,55	4,0—4,6	10,0—11,5	4,3—5,1	⩽0,3	5,0—6,0	⩽293
Р9К10	0,9—1,0	3,8—4,4	9,0—10,5	2,0—2,6	⩽0,3	9,5—10,5	⩽293
Р14Ф4	1,2—1,3	4,0—4,6	13,0—14,5	3,4—4,1	⩽0,4	—	⩽293
Р18	0,7—0,8	3,8—4,4	17,5—19,0	1,0—1,4	⩽0,3	—	255—207
Р18Ф2	0,85—0,95	3,8—4,4	17,5—19,0	1,8—2,4	⩽0,5	—	⩽293
Р18К5Ф2	0,85—0,95	3,8—4,4	17,5—19,0	1,8—2,4	⩽0,5	5,0—6,0	⩽293
Р18К5	0,65—0,77	3,6—4,5	17,0—18,5	1,0—1,4	0,3—0,6	4,5—5,5	269—217
Р18К10	0,65—0,77	3,6—4,5	17,0—18,5	1,0—1,4	0,3—0,6	9,5—10,5	269—217

Таблица 58

Температуры критических точек при нагреве

Марка стали	Температура в ° С		Марка стали	Температура в ° С	
	A_{c_1}	A_{c_3}		A_{c_1}	A_{c_3}
Углеродистая конструкционная сталь			15ХФ	770	850
			20ХФ	760	840
			40ХФА	750	800
			50ХФА	750	790
08	732	874	15М	730	930
10	732	874	30М	740	815
15	735	863	15ХМА	740	860
20	735	854	20ХМ	735	840
25	735	840	30ХМ	735	820
30	732	813	35ХМ	735	810
35	730	810	35Х2МА	715	776
40	730	800	33ХС	750	850
45	725	780	40ХС	750	840
50	725	770	20ХГ	765	838
55	727	774	40ХГ	740	820
60	727	766	50ХГ	750	775
65	727	752	35ХГ2	720	800
70	730	743	18ХГТ	730	850
15Г	735	863	40ХГТ	745	830
20Г	720	854	18ХГМ	740	830
30Г	720	820	38ХГМ	—	780
40Г	720	790	27СГ	750	880
50Г	720	770	35СГ	750	830
60Г	726	765	37ХС	763	850
65Г	724	750	27СГТ	710	900
Л53	720	⩾750	20ХГС	750	860
			25ХГС	750	850
			30ХГС	750	840
			35ХГС	750	830
Легированная конструкционная сталь			25Н	720	820
			30Н	710	800
			13Н5А	700	780
			21Н5А	700	780
15Х	735	870	30Н3А	700	780
20Х	740	840	15НМ	725	800
30Х	740	815	40НМ	715	776
35Х	740	815	20ХН	715	810
38ХА	740	815	40ХН	715	780
40Х	740	800	50ХН	715	760
45Х	721	771	12ХН2	720	840
50Х	721	771	12ХН3	715	820
55С2	775	840	20ХН3А	710	790
60С2	750	820	30ХН3	710	780

Продолжение табл. 58

Марка стали	Температура в ° С	
	A_{c_1}	A_{c_3}
37ХН3А	710	760
12Х2Н4	715	820
35ХЮА	780	900
38ХМЮА	780	900
35ХМФА	740	840
13ХНВА	710	820
18ХНВА	710	800
33ХН3МА	720	790
18ХН3МА	710	800
35ХНМ	730	810
40ХНМА	710	790
45ХНМФА	720	820
Автоматная сталь		
А12	735	866
А20	735	843
Шарикоподшипниковая сталь		
ШХ6	730—740	880 A_{c_m}
ШХ9	730—755	890 A_{c_m}
ШХ15	730—765	900 A_{c_m}
ШХ10	740—760	800 A_{c_3}
Нержавеющие стали		
1Х13	730	850
2Х13	820	950
3Х13	800	—
4Х13	820	1200
Х17	880	—
9Х18	830—865	—
4Х9С2	900	970
4Х10С2М	850	950

Марка стали	Температура в ° С	
	A_{c_1}	A_{c_3}
Углеродистая инструментальная сталь		
У7	730	770
У8—У13	730	—
Легированная инструментальная сталь		
Х05	740	—
Х	750	—
9Х	750	—
7Х	750	—
7Х3	770	—
ХГ	750	—
9ХС	785	—
В1	750	—
В2	765	—
9ХВГ	750	—
Х6ВФ	815	—
ХВГ	755	—
ХВ5	760	—
3Х2В8	830	—
4Х8В2	820	—
4ХВ2С	780	840
5ХВ2С	775	820
5ХНМ	730	780
5ХГМ	740	770
4ХС	770	860
Х12	810	—
Х12М	810	—
Х09	750	—
Ф	735	—
Х12Ф1	Около 810	—
Быстрорежущая сталь		
Р9	810	—
Р18	820	—

Таблица 59

Температуры жаропрочности и жаростойкости теплоустойчивых сталей

Марка стали	Жаропрочна	Жаростойка
	до температуры в °С	
Х5	—	650
Х6СЮ	—	700
2Х13Н4Г9, Х18Н9, 2Х18Н9 Х18Н10Е, Х14Г14Н, Х17АГ14 Х17Г9АН14, 0Х21Н5Т 1Х21Н5Т, Х18Н10Т Х18Н9Т, Х18Н12Т, 0Х18Н11 Х14Г14Н3Т, 0Х18Н10Т 00Х18Н10, 0Х18Н12Т Х18Н12Т, 0Х18Н12Б Х17, 0Х17Т	—	800
3Х13Н7С2, 1Х12СЮ	—	900
Х25Т, Х18СЮ, 0Х20Н14С2	—	950
Х20Н14С2	—	1050
4Х18Н25С2, ХН78Т	—	1100
Х28, Х28АН, ХН70	—	1150
Х25Н20С2	—	1200
1Х12В2МФ	600 В. Д.	—
Х15М, Х15ВФ	600 В. Д.	650
Х6СМ	660 Д.	700
1Х8ВФ	500 Д.	650
4Х9С2, 4Х10С2М	650 Д.	850
1Х14Н16Б, 1Х14Н16БР	—	—
4Х14Н14В2М	—	—
1Х12Н2ВМФ	600 Ог.	750
1Х13, 2Х13	500 В. Д.	750
1Х11МФ	550 В. Д.	750
1Х12ВНМФ	570 В. Д.	750
2Х12ВМБФР	600 В. Д.	750
0Х23Н18, Х23Н18	1000 Д.	1050
Х25Н16Г7АР, 1Х25Н25ТР	950 Ог.	1100
ХН38ВТЮ	750 Ог.	900
ХН60Ю, ХН70Ю	850—1100 Ог.	1200
4Х12Н8Г8МФБ	650 Ог.	750
Х12Н22Т3МР	750 Ог.	850
0Х14Н28В3Т3ЮР	750 Ог.	900
Х12Н20Т3Р 1Х14Н18В2Б, 1Х14Н18В2БР	700 Ог.	850
1Х14Н18ВБРІ	700 Д.	850
4Х15Н7Г7Ф2МС	650 Ог.	800
1Х16Н13М2Б	600 В. Д.	850
Х16Н15М3Б	350 В. Д.	850
3Х19Н9МВБТ	600 В. Д.	800
ХН35ВТ	650 В. Д. 700 Д.	900
ХМ35ВМТ	700 В. Д.	900

Продолжение табл. 59

Марка стали	Жаропрочна	Жаростойка
	до температуры в °С	
ХН35ВТР	750 В. Д.	900
ХН38ВТ	600—950 Ог.	1050
ХН70ВМЮТ	750 В. Д. 800 Д.	1000
ХН70ВМТЮ, ХН70ВМТЮБ	850 Ог.	1000
ХН67ВМТЮ	800 Д. 850 Ог.	1000
ХН80ТБЮ	700 В. Д.	1050
ХН75МБТЮ	950 Ог.	1050
ХН77ТЮ, ХН77ТЮР	750 Ог.	1050
ХН60В	800—1000	Ог.1200

Примечание. Под ограниченным сроком работы (Ог.) понимается время службы детали от 100 до 1000 *ч*. Под длительным сроком (Д.)—от 1000 до 10000 *ч*., под весьма длительным сроком (В. Д.) — время значительно больше (обычно от 50000 до 100000 *ч*).

Таблица 60

Примерное назначение по применению в агрессивных средах марок коррозионностойких сталей

Марка стали	Примерное назначение
0Х13,1Х13,2Х13,3Х13,4Х13,Х14 2Х13Н4Г9,Х14Г14Н,Х14Г14Н3Т 1Х13Н3	Для работы в слабо агрессивных средах при температуре не выше 30°С (водные растворы солей, азотная и некоторые органические кислоты невысоких концентраций, пищевые среды). Стали, достаточно стойкие в условиях действия пресной воды, пара, атмосферы
9Х18,1Х17Н2,2Х17Н2,Х17,0Х17Т Х25Т,Х25Н9Ю,Х17Н7Ю,0Х21Н5Г Х28, 1Х21Н5Т,00Х18Н10,0Х18Н10 Х18Н9,2Х18Н9,Х18Н10Е,0Х18Н10Т Х18Н10Т,0Х18Н11,0Х18Н12Т Х18Н12Т,0Х18Н12Б,Х28АН,Х18Н9Т Х17Г9АН4,Х17АГ14, 0Х10Н20Т2 Х16Н15М3Б	Для работы в средах средней агрессивности—азотной, органических кислот (исключая уксусную, муравьиную, молочную, щавелевую), большинства растворов солей, органических и неорганических кислот при различных температурах и концентрациях

Продолжение табл. 60

Марка стали	Примерное назначение
0Х21Н6М2Т, Х17Н13М2Т, 0Х17Н16М3Т	Для работы в средах повышенной агрессивности, в частности органических кислот: муравьиной, уксусной, молочной, щавелевой (не выше 5%) и других, а также фосфорной (до 32%), содержащей фтористые соединения, борной кислоты с примесью серной (до 1%), кремнефтористоводородной кислоты до 10% для температур не выше 40°С
0Х23Н28М2Т	Для раствора серной кислоты низких концентраций (до 20%) при температуре не выше 60°С, фосфорной кислоты, содержащей фтористые соединения, и других сред высокой агрессивности
0Х23Н28М3Д3Т	Для работы в среде серной кислоты всех концентраций при температуре не выше 80°С, для фосфорной кислоты (32—50%), содержащей фтористые соединения, для кремнефтористоводородной кислоты повышенных концентраций (до 25%) при температуре не выше 70°С

Глава IV

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ

1. Нагрев

Скорость нагрева в печах изделий, находящихся в отожженном состоянии и не имеющих особо резких переходов сечений, не следует ограничивать. При нагреве в соляных ваннах (табл. 61) изделий из

Таблица 61

Наиболее употребительные составы солей, применяемые для нагрева изделий в соляных ваннах при закалке

Составляющие смеси	Химическая формула	Вес в %	Температура плавления в °С	Рекомендуемые температурные интервалы работы в °С
Поваренная соль Кальцинированная сода	NaCl Na_2CO_3	50 50	560	590—900
Поваренная соль Хлористый кальций	NaCl $CaCl_2$	50 50	595	630—850
Поваренная соль Хлористый барий	NaCl $BaCl_2$	22,5 77,5	635	665—870
Поваренная соль Хлористый калий	NaCl KCl	44 56	660	720—900
Поваренная соль	NaCl	100	800	830—1100
Хлористый калий	KCl	100	768	800—1000
Сильвинит	NaCl, KCl	100	700	780—950
Хлористый барий Хлористый калий	$BaCl_2$ KCl	80 20		680—1060
Хлористый барий	$BaCl_2$	100	962	1100—1350

высокоуглеродистых и легированных сталей с острыми кромками и резкими переходами сечений их рекомендуется предварительно подогревать для обеспечения равномерного прогрева. Подогрев до 500—600°С больших партий закаливаемых изделий производят в отдельных печах. Небольшие партии можно подогревать в закалочной соляной ванне путем многократного (2—5 раз) погружения изделия в расплавленную соль на 2—3 *сек.*

Изделия, нагреваемые в высокотемпературных (свыше 1000°С) соляных ваннах, следует подогревать примерно до 800°С любым из указанных выше способов (изделия простой конфигурации подвергать

предварительному подогреву не надо). Подогрев в данном случае необходим для сокращения продолжительности выдержки при высокой температуре и предотвращения перегрева острых кромок и выступающих частей. Повторный нагрев закаленной стали ведется медленно во избежание образования трещин.

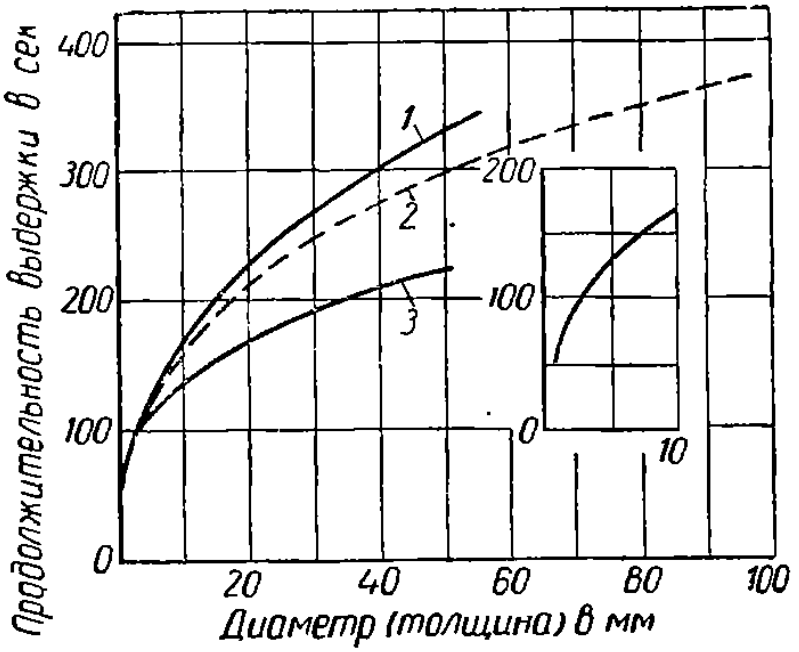
Таблица 62

Ориентировочное время нагрева изделий в различиых печах

Оборудоваиие	Температура в печи в °С	Время нагрева 1 *мм* диаметра, или толщины изделия в *сек*		
		Круглое сечение	Квадратное сечение	Прямоугольиое сечение
Электропечь	800	40—50	50—60	60—75
Нефтяная печь	800	35—40	45—50	55—60
Соляная ванна	800	12—15	15—18	18—22
Свинцовая ванна	800	6—8	8—10	10—12
Соляная ванна	1300	6—8	8—10	10—12

В табл. 62 приведено общее ориентировочное время нагрева изделий в печах.

Номограмма, приведенная на фиг. 11 и заимствованная из книги Ю. А. Геллера «Инструментальная сталь», дает несколько большие выдержки быстрорежущей стали при температуре до 1300°С. Согласно номограмме время выдержки не пропорционально увеличению диаметра инструмента.



Фиг. 11. Продолжительность выдержки инструмента из быстрорежущей стали при окончательном нагреве под закалку в расплавленных солях:
1 — ииструменты прямоугольного сечения (резцы); *2* — фасонные цилиндрические инструменты; *3* — сверла.

Проведенное исследование [66] указывает, что при выдержке сверл малых диаметров (до 3 *мм*) из расчета 30—50 *сек/мм* значительно повышается производительность инструмента.

На время нагрева влияет много факторов: количество изделий, помещенных в печь, объем рабочего пространства печи, расположение изделий в печи — навалом или с омыванием горячими газами каждого изделия, температура, при которой производится загрузка, равномерность нагрева печи, неплотность прилегания крышки и т. п. Практически время нагрева следует определять на месте с учетом приведенных выше факторов.

2. Окисление и обезуглероживание при нагреве

Практически окалина начинает образовываться при температуре 500—600°С. Толщина окалины и глубина обезуглероженного слоя растут с повышением температуры и времени выдержки.

Из табл. 63 ясно, какое действие оказывают печные газы на сталь.

Таблица 63

Действие печных газов на сталь

Газ	Химическая формула	Действие на сталь
Кислород Углекислый газ Водяной пар	O_2 CO_2 H_2O	Окисляющее
Окись углерода Водород Метан	CO H_2 CH_4	Восстанавливающее
Углекислый газ Водяной пар	CO_2 H_2O	Обезуглероживающее
Окись углерода Метан	CO CH_4	Науглероживающее
Аммиак	NH_4	Азотирующее
Азот Аргон Гелий	N_2 Ar He	Нейтральное

Реакции взаимодействия печных газов со сталью:

При окислении:

$$1.\ O_2 + 2F = 2FeO;$$
$$2.\ CO_2 + Fe = CO + FeO;$$
$$3.\ H_2O + Fe = H_2 + FeO.$$

При обезуглероживании:

$$1.\ O_2 + Fe_3C = 3Fe + CO_2;$$
$$2.\ 2H_2 + Fe_3C = 3Fe + CH_4.$$

Надежным способом защиты поверхности металла от воздействия печных газов является применение защитных атмосфер. В табл. 64, 65, 66 приведены техническая характеристика газов, образующихся при приготовлении защитных атмосфер, их состав и назначение.

Атмосфера КГ-ВО не требует очистки, легко регулируется, имеет наиболее низкую стоимость и поэтому рекомендуется [59] в качестве типовой контролируемой атмосферы.

Действие защитной атмосферы на обрабатываемую сталь определяется углеродным потенциалом атмосферы, требуемой для данного вида обработки (науглероживание, обезуглероживание или нейтральное состояние). Состояние защитной атмосферы по углеродному потенциалу определяется по температуре точки росы.

Таблица 64

Техническая характеристика газов, образующихся при создании защитных атмосфер

Газ	Плотность	Теплотворная способность в *ккал/м³*	Температура воспламенения в °С	Прочие характеристики
Водород	0,069	2890	575	В соединении с воздухом от 4 до 74% взрывоопасен
Азот	0,972	0	—	Инертен
Диссоциированный аммиак (25% азота + + 75% водорода) . .	0,295	2170	—	В соединении с воздухом взрывоопасен
Углекислый газ . . .	1,527	—	—	
Окись углерода . . .	0,968	2860	—	В соединении с воздухом от 12 до 74% взрывоопасен
Метан	0,554	9020	680—750	В соединении с воздухом от 4 до 15% взрывоопасен

При отсутствии установки для приготовления защитной атмосферы производят упаковку изделий в ящики с твердой изолирующей средой. В качестве твердой изолирующей среды применяют: 1) отработанный карбюризатор; 2) чугунную стружку свежую или с добавкой 50% использованной; 3) пережженный асбест и т. п.

Чистый древесный уголь не защищает от обезуглероживания сталь с высоким содержанием углерода.

Инструменты из быстрорежущей и высокохромистой стали предохраняют от обезуглероживания предварительным погружением в насыщенный раствор буры.

При нагреве бура расплавляется, покрывает тонким слоем поверхность изделия и этим предохраняет его от действия окисляющей среды.

Для предохранения нагреваемых изделий от окисления в печи возле дверцы кладут древесный уголь.

Весьма мелкие детали предохраняют от образования окалины погружением в раствор, приготовляемый следующим образом: 1 часть хлористого кальция растворяют в 25 частях воды, после кипения раствору дают остыть, затем прибавляют 2 части размолотого плавикового шпата.

Соляные ванны для предохранения от обезуглероживания следует раскислять два-три раза в смену, добавляя в расплавленную соль молотый 25-процентный ферросилиций в количестве 200—300 *г* на ванну СПЗ-75, борную кислоту, желтую или красную кровяную соль в количестве 40—50 *Г* на ванну. Раскисление хлорбариевой ванны производится при температуре 1300—1320°С. После заброса раскислителя ванна выдерживается 15—25 *мин*, после чего очищается от шлака, и температура снижается до требуемой.

Таблица 65

Примерный химический состав защитных атмосфер

Атмосфера и способ приготовления	Условное обозначение	Примерный состав элементов % (по объему)					
		CO	CO_2	H_2	H_2O (водяной пар)	CH_4	N_2
Экзогаз. Приготовляется на основе полного сжигания углеводородных газов ($\alpha = 0{,}9—1{,}0$)	ПС-09	1,0	10,0	1,0	2,36 (—20°С)**	—	88,0
	ПСО-09*	2,0	0,1	2,0	0,013 (—40°С)	—	96,0
Экзогаз. Приготовляется на основе неполного сжигания углеводородных газов ($\alpha = 0{,}5—0{,}6$)	ПС-06	10,0	6,0	15,0	2,36 (—20°С)	0,5	68,5
	ПСО-06*	10,0	0,1	16,0	0,013 (—40°С)	1,5	72,5
Эндогаз. Приготовляется на основе сжигания углеводородного газа с большим недостатком воздуха ($\alpha = 0{,}25$)	КГ-ВО	18,0—24,0	До 1,0	40,0 32,0	2,36—0,1 (+20—20°С)	До 1,5	38,0— 44,5
Диссоциированный аммиак	ДА	—	—	75,0	(—40—50°С)		25,0

* Атмосферы приготовляют путем очистки от CO_2 и осушки атмосфер ПС-09 и ПС-06.
** В скобках указана температура точки росы в °С.

Таблица 66

Назначение защитных атмосфер

Операция термической обработки	Применяемая атмосфера
Отжиг меди и медных сплавов	ПС-09, ПСО-09
То же и отжиг медноникелевых сплавов, чугуна, малоуглеродистой стали. Нормализация малоуглеродистой стали . . .	ПС-06, ПСО-09
Отжиг, нормализация и закалка углеродистых, легированных и быстрорежущих сталей	ПСО-06, ПСО-09, КГ-ВО
Отжиг нержавеющей стали, трансформаторного железа, малоуглеродистой стали	ДА
Цементация	КГ-ВО, а также ПСО-06 с добавкой сырого газа

Большое распространение получает метод раскисления соляных ванн древесным углем. Дырчатый стакан с приваренной ручкой наполняют древесным углем и опускают в расплавленную соль на 15—20 *мин* (в смену рекомендуется раскислять 2—3 раза).

Проверку соляных ванн на раскисленность можно произвести при помощи лезвий безопасных бритв или фольги. Лезвие, нагретое в течение 3—5 *мин* в хорошо раскисленной ванне и закаленное в воде, должно ломаться, а не гнуться.

Раскислеиие щелочных ванн производится путем заброса на поверхность ванны желтой кровяной соли в количестве 0,2—0,3% от веса щелочи. При раскислении ванну следует перемешивать в течение 15—20 *мин*, после чего очистить от шлака.

В свинцовых ваннах для защиты от окисления иа поверхность забрасывают древесный уголь толщиной 15—20 *мм*.

Предохранение от обезуглероживания напильников производят травлением перед закалкой в течение 10—15 *мин* в следующем растворе кислот по объему: 7% серной концентрированной кислоты, 7% азотной концентрированной кислоты, 86% воды. После травления напильники сушат возле печи.

3. Отжиг

При отжиге изделия иагревают выше критических температур и медленно охлаждают, в результате чего образуется наиболее равновесная структура. Назначение — уменьшение твердости, снятие напряжений, получение равновесной структуры, улучшение обрабатываемости, устранение иаклепа и обеспечение диффузионных процессов с целью наиболее полного выравнивания химической неоднородности (табл. 67, 68).

Медленное охлаждение после отжига лучше всего осуществлять при помощи приборов программы управления. Если их нет, изделия

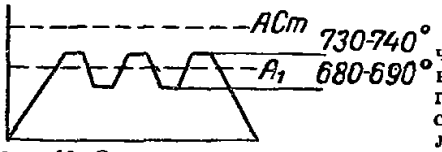
Таблица 67

Ориентировочная таблица для выбора вида отжига

Вид отжига	Применение	Температура нагрева изделия в °С	Скорость охлаждения	Назначение
Полный	Для доэвтектоидных, эвтектоидных сталей, мелкого и среднего стального литья	$A_{c_3}+20\div30$ $A_{c_1}+20\div30$	Охлаждение до 500—600°С для углеродистых сталей со скоростью 50—100° С/*ч*; для легированных сталей со скоростью 20—60° С/*ч*	Уменьшение твердости; снятие напряжений; улучшение структуры
Неполный	Для доэвтектоидных сталей	Между A_{c_1} и A_{c_3}	Такая же, как и при полном отжиге	Уменьшение твердости; снятие напряжений
Сфероидизация (отжиг на зернистый перлит)	Для заэвтектоидных сталей	$A_{c_1}+10\div20$	Охлаждение до 500—600°С со скоростью 20—30° С/*ч*	Уменьшение твердости; улучшение обрабатываемости режущим инструментом; улучшение обрабатываемости при холодной протяжке; подготовка структуры к последующей закалке
Изотермический	Для легированных и высокоуглеродистых сталей (в основном)	$A_{c_3}+20\div20$ $A_{c_1}+20\div30$	Быстрая до температуры A_1—20÷30°С, выдержка при этой температуре, охлаждение на воздухе	Такое же, как и при полном отжиге

Продолжение табл. 67

Вид отжига	Применение	Температура нагрева изделия в °С	Скорость охлаждения	Назначение
Диффузионный (гомогенизация)	Для крупного стального литья и слитков, глубокоцементированных изделий (свыше 2,5 *мм*)	A_{c_3} +150÷250	С печью	Устранение грубой структуры, ликвации
Низкотемпературный отжиг (высокий отпуск)	Для заивтектоидных, высоколегированных конструкционных сталей, всех видов инструментальных сталей	A_{c_1} —15÷50	С печью или на воздухе	Уменьшение твердости; уменьшение напряжений; улучшение обрабатываемости
Рекристаллизационный	Для любых сталей после деформации при низких температурах	См. табл. 68	—	Восстановление структуры после наклепа



Фиг. 12. Схема циклического отжига.

Примечание. 1. Сфероидизация производится также в виде маятникового или циклического отжига по схеме, указанной на фиг. 12. 2. Быстрое охлаждение от температуры первого нагрева до изотермической выдержки осуществляется в печи с заданной температурой или же путем остывания в печи с открытой дверцей. 3. Высокий отпуск является единственным видом смягчения операции хромоникельвольфрамовой, хромоникельмолибденовой конструкционных сталей. 4. После гомогенизирующего отжига для измельчения структуры рекомендуется обычный отжиг.

Таблица 68

Рекристаллизационный отжиг холоднодеформированной стали

Марка стали	Температура нагрева в °С	Охлаждающая среда
У7—У13, У8Г, Ф, В1, 08—85, 15Г—70Г, 70С2ХА, ЕХ3	680	Воздух
ШХ6—ШХ15, ШХ15СГ, 40Х, 38ХА, 20Х3, 40ХФА, 38ХМЮА, 30ГХСА, Х, 9Х, Х05, 7Х3, 8Х3, 9ХС, ХГС, 4ХС, ХГ, 4ХВ2С, 5ХВ2С, 6ХВ2С, ХВГ, ХВ5	700	»
Р9, Р18	760—780	Вода
Х12, Х12М, Х12Ф1, Х18	730—750	»
Х9С2, Х10С2М, Х17	850	»
1Х13, 2Х13, 3Х13, 4Х13	720	Воздух
0Х18Н10, Х18Н9, Х18Н9Т, Х13Н4Г9, 0Х18Н12Б, 2Х18Н19, Х15Н60, Х20Н80, Х20Н80Т3, 4Х14Н14В2М, 4Х18Н25С2, 3Х13Н7С2	850	Вода
12ХН3А, 12Х2Н4А, 20ХН3А, 30ХН3А, 37ХН3А, 40ХНМА	660	Воздух
18НВА, 25ХНВА, 20ХН4ФА	640	»
Х13Ю4, 1Х17Ю5, 0Х17Ю5, 1Х25Ю5, 0Х25Ю5, Х27, Х28, Х25Т	700	Вода

Примечание. Выдержка при температуре рекристаллизации при открытом нагреве до 1 *ч*.

упаковывают в ящики с песком, золой и т. п. или герметизируют печи, включая обмазку дверей и других просветов печи. Кроме того, охлаждение ведут путем периодического отключения и включения печи.

4. Нормализация

Нормализация отличается от отжига тем, что изделия охлаждаются на воздухе; при этом структура получается более мелкозернистой.

Нормализация применяется для исправления структуры перегрева стали, снятия внутренних напряжений, разрушения карбидной сетки, улучшения обрабатываемости конструкционных малоуглеродистых и низколегироваиных сталей и как предварительная операция для увеличения глубины прокаливаемости углеродистых инструментальных сталей.

5. Закалка

При закалке сталь нагревают и быстро охлаждают, в результате чего получаются напряженные, метастабильные структуры.

Закалка применяется для придания стали наибольшей твердости. Для закалки доэвтектоидную сталь нагревают на 20—30°С выше A_{c_3}, а эвтектоидную и заэвтектоидную на 20—30°С выше A_{c_1} и после завершения нагрева быстро охлаждают. В табл. 69, 70, 71 приведены

Таблица 69

Скорость охлаждения стали в различных охлаждающих средах

Охлаждающая среда	Скорость охлаждения в *сек* при температуре	
	650—550°С	300—200°С
Вода при 18°С	600	270
Вода при 26°С	500	270
Вода при 50°С	100	270
Вода при 74°С	30	200
10-процентный раствор в воде (18°С) поваренной соли	1100	300
10-процентный раствор в воде (18°С) каустической соды	1200	300
10-процентный раствор в воде (18°С) серной кислоты	750	300
Минеральное масло	100—150	20—50
Мыльная вода	30	200
Керосин	160—180	40—60
Медные плиты	60	30
Железные плиты	35	15

Таблица 70

Масла, применяемые для изотермической и ступенчатой закалок и отпуска

Масло	Температура вспышки в °С
Вазелиновое Т	125
Трансформаторное	155
Веретенное 2	165
Веретенное 3	170
Автол 4	180
Машинное Л	180
Машинное С	190
Машинное СУ	200
Цилиндровое 2	215
Вискозин 3	240
Цилиндровое 6	290
Дистилат 6	300
Вапор Т	320

Таблица 71

Составы солей и щелочей для изотермической закалки и отпуска

Составляющие	Формула	Вес в %	Температура плавления в °С	Рекомендуемые температуры применения в °С
		Соли		
Селитра калиевая Селитра натриевая Нитрит натрия . .	KNO_3 $NaNO_3$ $NaNO_2$	50—55 3—20 Остальное	— — —	150—500
Селитра калиевая Селитра натриевая Нитрит натрия . . Вода	KNO_3 $NaNO_3$ $NaNO_2$ H_2O	50—55 3—20 Остальное 4	— — —	110—500
Селитра калиевая Селитра натриевая	KNO_3 $NaNO_3$	50 50	220 —	245—500
Хлористый цинк Хлористый калий Хлористый натрий Фтористый натрий	$ZnCl_2$ KCl NaCl NaF	60 19 20 1	— — — —	275—540
Селитра натриевая	$NaNO_3$	100	308	325—500
Селитра калиевая	KNO_3	100	333	325—500
Карналит	KCl, $MgCl_26H_2O$	100	440	450—600
Хлористый натрий Хлористый калий Хлористый кальций Хлористый барий	NaCl KCl $CaCl_2$ $BaCl_2$	15 25 20 40	— — — —	515—850
Селитра калиевая Нитрит натрия . . Селитра натриевая Вода . . . . . . Едкий натрий * . .	KNO_3 $NaNO_2$ $NaNO_3$ H_2O NaOH	53 40 7 2—3,5 4	— — 90—95 — —	105—200
		Щелочи		
Едкий калий . . . Едкий натрий . . Вода	KOH NaOH H_2O	75 25 6	— 130 —	150—250
Едкий калий . . . Едкий натрий . .	KOH NaOH	63 37	159	180—350
Едкий калий . . . Едкий натрий . .	KOH NaOH	50 50	— —	260—540
Едкий натрий . .	NaOH	100	328	350—550
Едкий натрий . . Кальцинированная сода . . . . . . Хлористый калий или натрий . .	NaOH Na_2CO_3 KCl NaCl	40 35 25	— — —	500—700

* Едкий натрий и вода в процентах по отношению к селитре.

некоторые характеристики охлаждающих сред при обычной и изотермической закалках.

Для получения одинаковых результатов закалки вода должна применяться при постоянной температуре (15—30°С) и одного состава (непроточная). Охлаждают закалочную воду искусственным путем. При обработке легированных сталей ТВЧ находят применение 25—30-процентный водный раствор глицерина, 0,05—0,1-процентный водный раствор поливинилового спирта в воде при давлении 4 *ати* [67] и подогретая до 45—50°С вода. Масло сохраняет свою закаливающую способность в пределах температур 20—150°С. Необходимо учитывать, что масло с течением времени теряет свою закаливающую способность. Если при закалке в масло не получается обычная для данной стали твердость, то необходимо произвести проверку путем закалки образцов из одного прута в новое и старое масло.

Медные и железные плиты лучше применять полые с циркуляцией воды для охлаждения. При пользовании сплошными плитами поверхность следует смазывать маслом для лучшего охлаждения изделий.

Лучшие результаты изотермической закалки получаются при механическом перемешивании охлаждающей среды.

Существуют следующие способы закалки.

Закалка в одном охладителе. Нагретое изделие охлаждается до температуры ниже 150—100°С в одном охладителе. Этот основной вид закалки легированных сталей при охлаждении в масле и цементированных углеродистых сталей при охлаждении в воде применяется также для закалки изделий из средне- и высокоуглеродистых сталей самой несложной формы. Изделия из углеродистой стали диаметром до 6—7 *мм* закаливаются в масле.

Закалка в двух охладителях. Нагретое изделие охлаждается в воде до температуры 200—250°С, после чего быстро переносится в масло или селитру для дальнейшего охлаждения. Ориентировочное время охлаждения в воде до переноса в масло равно примерно 1—1,5 *сек* на каждые 5—6 *м* диаметра или толщины изделий.

Это основной вид закалки углеродистых инструментальных сталей.

Струйчатая закалка. Охлаждение производится струей воды или водяным душем, применяется для закалки изделий со сквозными и глухими отверстиями.

Изотермическая закалка. Изделие, нагретое на 15—20°С выше требуемой температуры, охлаждается в горячем масле, расплавленной соли или щелочи, нагретых до температур выше начала мартенситного превращения для данной стали. Полученные механические свойства структуры зависят от температуры охлаждающей среды, устанавливаемой по диаграмме изотермического превращения для данной марки стали (фиг. 13).

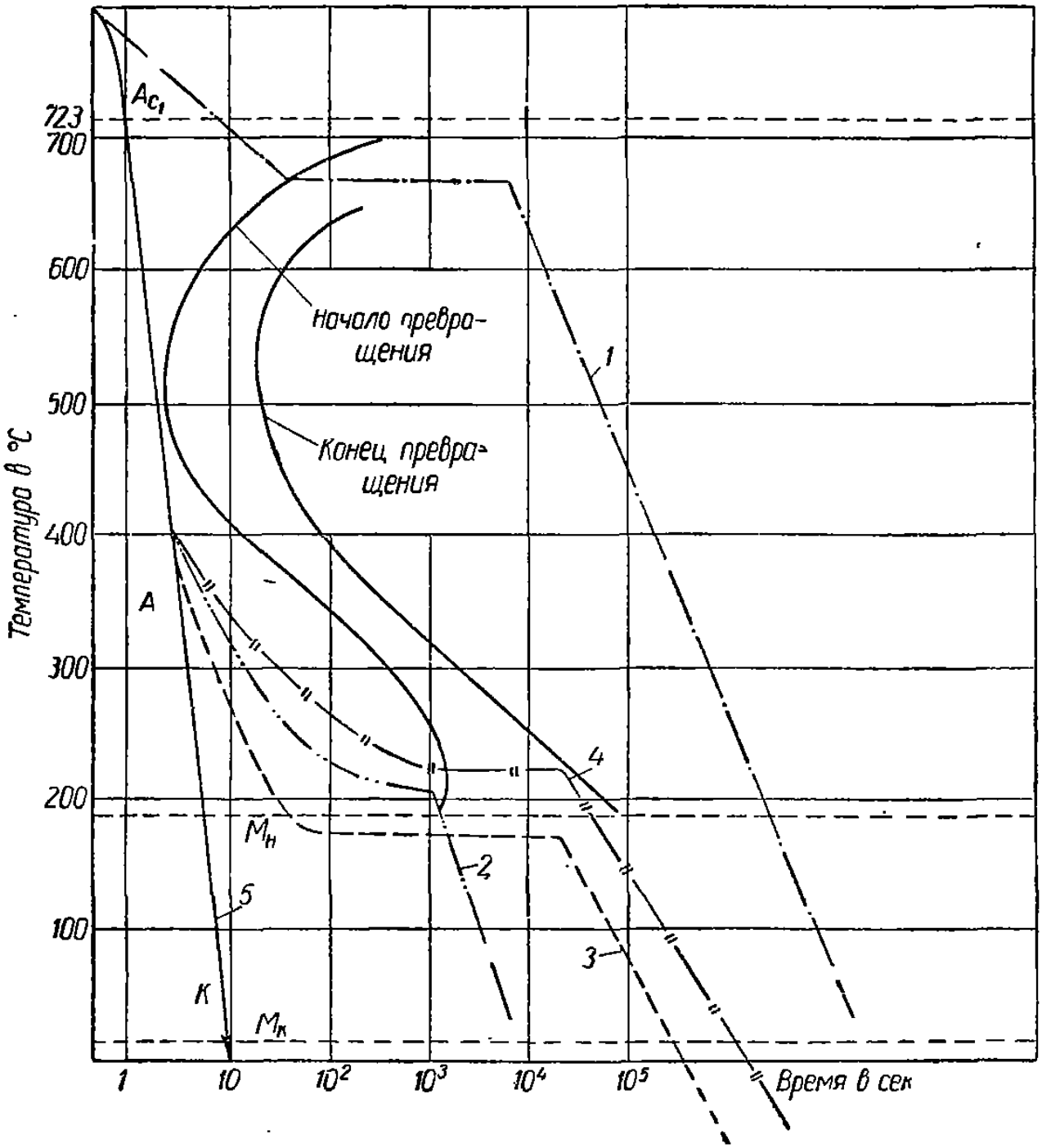
После окоичаиия превращения аустенита изделия охлаждают на воздухе. В результате изотермической закалки образуется троостит или сорбит. Отпуск после изотермической закалки ие производят.

Примеияется для закалки изделий сложной формы во избежание образования трещин и коробления.

Ступенчатая закалка на мартенсит производится двумя способами:

1. Нагретое изделие охлаждается в горячей среде при температуре среды на 20—30°С выше температуры мартенситного превращения до выравнивания температуры по всему сечению, после чего охлаждается на воздухе. После выемки изделий из горячей среды до окончания превращения аустенита изделие можно править.

2. Нагретое изделие охлаждается в горячей среде при температуре 150—180°С до выравнивания температуры, а затем на воздухе. Править изделие при этом способе иельзя, однако брак из-за образования трещин и коробления по сравнению с обычной закалкой значительно уменьшается. Применяется для изделий из углеродистых сталей до 15 *мм* и для легированных сталей.



Фиг. 13. Кривые охлаждения, характеризующие различные способы изотермической обработки стали:

1 — изотермический отжиг; *2* — ступенчатая закалка выше мартенситной точки; *3* — ступенчатая закалка ниже мартенситной точки (горячая закалка); *4* — изотермическая закалка; *5* — закалка в одном охладителе.

Закалка с самоотпуском. Рабочая часть нагретого изделия охлаждается в воде, после чего вынимается, зачищается и отпускается до требуемого цвета побежалости. Применяется в основном для ударного инструмента из углеродистой стали.

Закалка с подстуживанием. Изделие, нагретое выше требуемой температуры, подстуживается на воздухе до нормальной закалочной температуры, после чего закаливается. Применяется в осиовном для

цементованных изделий при закалке непосредственно с цементационного нагрева, для штампов из стали 5ХНТ и др.

Светлая закалка производится тремя способами:

1. Нагрев изделия в соляной ванне и охлаждение в расплавленной щелочи. После закалки изделия промываются в горячей, а затем в холодной воде и потом пассивируются в водном растворе следующего состава: 1,5-процентный раствор нитрита натрия и 0,3-процентный раствор кальцинированной соды (табл. 72).

Таблица 72

Твердость изделий в зависимости от температуры изотермической закалки и времени выдержки при закалке в расплавленной щелочи

Марка стали	Диаметр или толщина изделия в *мм*	Температура расплавленной щелочи в °С	Время выдержки в *мин*	Твердость *HRC*
У10	19	240	30	43—44
ШХ15	18,5	280	30	59—60
9ХС	20	240	15	61—62
			30	58—60
30ХГС	8—15	370	20	38—42
30ХГСНА	—	260—320	60	41—46
		240—300	60	44—49
		200—280	60	46—51
65Г	20	330	15	40—46
45	17	300	—	20—21
40Х	33	250	10	48—50
45Х	17	350	—	40—42
Х12М	12	420	10	58—60
	22	450	15	57—59
	30	450	45	58—60
50ХФА	8—12	320	15—20	41—45
60С2	8—12	320	15	40—46
40ХСА	17	350	—	40—42
38ХС	—	340—360	—	37—44

Соляные ванны, применяемые при нагреве под светлую закалку, должны быть раскислены и не должны содержать хлористый барий, так как присутствие его портит щелочную ванну. Лучшим составом является 100-процентный хлористый калий.

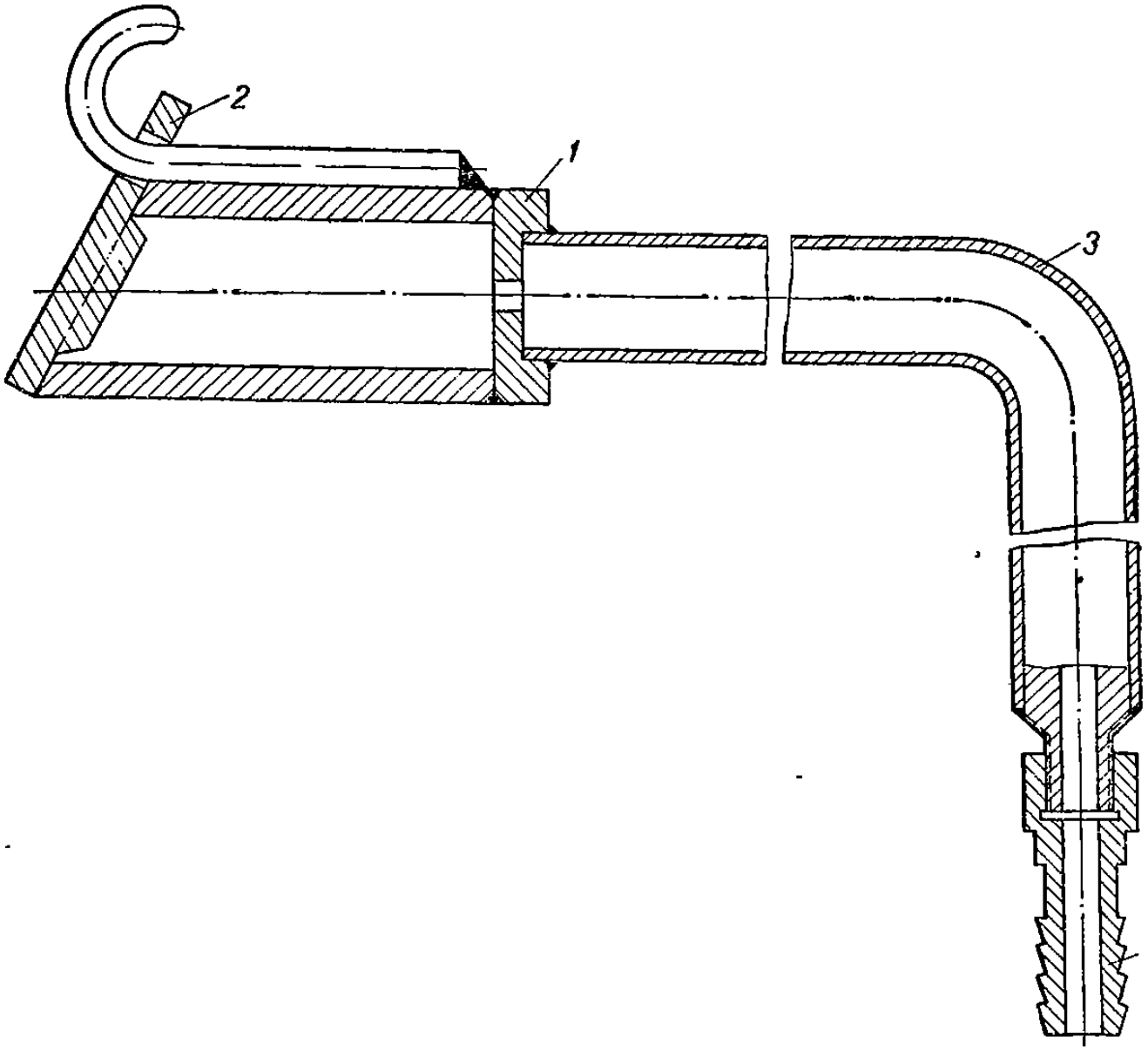
Ванны, работающие при температуре свыше 250°С раскисляют желтой кровяной солью по мере надобности в количестве 0,2—0,3% от веса щелочи.

Ванны, работающие при температуре ниже 250°С, раскисления не требуют. В случае загустения и для повышения закаливающей способности ванны в нее при температуре не выше 200°С мелкими порциями ковшом с длиной ручкой приливают 30—50-процентный водный раствор едкого калия.

Степень закалки изделий в низкотемпературной щелочной ванне зависит от количества введенной в нее воды. Наибольшую твердость

приобретают изделия, закаленные в ванне, содержащей 10% воды. Большее количество воды вызывает появление на изделии мягких пятен. Добавление воды происходит спокойно. Для лучшего качества закалки щелочь следует перемешивать крыльчаткой или шиеком.

В случае, если на изделиях, прошедших светлую закалку, вследствие плохой промывки появляется ржавчина, то ее можно снять, не изменяя



Фиг. 14. Муфель для светлой закалки:
1 — муфель; *2* — крышка; *3* — труба; *4* — штуцер для подсоединения резиновой трубки к газовой сети.

размеров изделия, путем нагревания в специальном растворе при 70—80°С в течение 30—40 *мин* с последующей тщательной промывкой в сильной струе воды и окунанием в раствор нитрита натрия. Приготовляют раствор следующим образом: в 200 *см*^{3} воды растворяют 100 *г* хромового ангидрида и 110 *г* ортофосфорной кислоты, после чего приливают воду до получения 1 *л* раствора.

2. Светлая закалка с нагревом в защитных атмосферах. Петродворецким часовым заводом [70] предложен следующий способ светлой закалки мелких изделий: в камерной печи нагревают приспособление (фиг. 14), в него подают защитный газ, засыпают изделия, после чего крышку закрывают и приспособление с изделиями прогревают до тре-

руемой температуры. После нагрева изделия вынимают из приспособления и закаливают в светлокалящем масле (вазелиновом Т).

3. Светлая закалка в 50-процентном водном растворе щелочи применяется для закалки углеродистых сталей, нагреваемых в соляных ваннах. Твердость изделия при этом более высока и равномерна, чем при закалке в воде, а опасность возникновения трещин и поводки меньшая. Изделия весьма сложной конфигурации следует калить с переносом в масло.

Закалка при температурах ниже нуля применяется для сталей с весьма устойчивым аустенитом для более полного его превращения в аустенит.

В табл. 73 приведены температуры, при которых производят обработку холодом некоторых марок стали. Обработку холодом нужно

Таблица 73

Температура обработки холодом сталей некоторых марок для более полного превращения аустенита

Марка стали	Температура охлажденія в °С	Марка стали	Температура охлаждения в °С
У8	0	ШХ15	—30
У10	0	Х12Ф1	—70
У12	—20	18ХНВА (цемеи-туемая)	—85*
ХГ	—50	12Х2Н4А (цемен-туемая)	—85*

* Для цементуемого слоя.

производить сразу после остывания изделия до комнатной температуры, так как после вылеживания при комнатной температуре аустенит становится весьма устойчивым. Время от момента закалки до обработки холодом не должно превышать 1—3 *ч*, а для углеродистых инструментальных деталей и того меньше. Обработка холодом производится до отпуска. Установлено, что обработка холодом не повышает режущих свойств быстрорежущего инструмента. Следует избегать весьма резкого охлаждения изделий во избежаиие появления трещин. В качестве охладителя применяют жидкий азот, жидкий кислород, твердую углекислоту, фреон и т. п.

Закалка поверхностная осуществляется путем быстрого нагрева изделия в электролите, газокислородном пламени (табл. 74), контактным методом или ТВЧ.

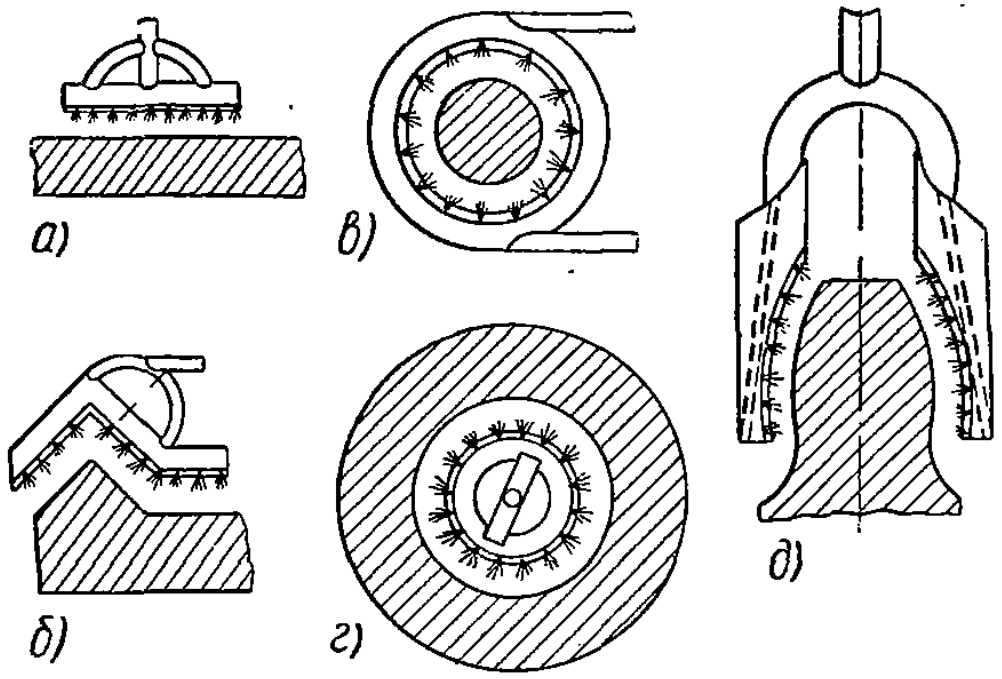
Закалка с нагревом в электролите заключается в следующем: постоянный ток напряжением не ииже 180 *в* пропускается через электролит — анод и стальное изделие — катод, в результате чего на катоде выделяется водород, который служит электросопротивлением. В месте выделения водорода происходит нагрев металла до высокой температуры. В качестве электролита примеияют 5—10-процентный водный раствор кальцинированной соды или поташа. Закалка может производится в этом же электролите.

Таблица 74

Способы газопламенной закалки

Способ	Применение
Стационарный: изделие и горелка неподвижны. После выключения горелки включается охлаждение	Для изделий, имеющих небольшую закаливаемую поверхность, например: зубьев звездочек, кулачков, токарных центров; недлинного концевого инструмента и др.
Вращательный: изделие вращается, горелка неподвижна. После выключения горелки включается охлаждение	Для изделий цилиндрической формы, например шеек и цапф валов и осей, шестерен с малым модулем зуба диаметром до 450 *мм*
Плоско-поступательный: изделие движется прямолинейно, горелка неподвижна или наоборот. Охлаждение действует непрерывно на расстоянии 10—20 *мм* от горелки	Для изделий плоской формы большой длины; направляющих станины, ножей и т. п.
Вращательно-поступательный: изделие медленно вращается, горелка неподвижна. Охлаждение действует непрерывно, на расстоянии 10—20 *мм* от горелки	Для изделий цилиндрической формы диаметром свыше 200 *мм*: бандажей, опорных колец, ходовых колес, краиов, роликов больших диаметров и т. п. В месте окончания закалки образуется отпущенная полоска
Спирально-поступательный: изделие медленно вращается, горелка движется прямолинейно. Охлаждение действует непрерывно на расстоянии 10—20 *мм* от горелки	Для изделий цилиндрической и спиральной формы: червяков, винтов и т. п. В местах стыка спиралей образуется отпущенная полоска
Комбинированный: горелка движется прямолинейно вдоль оси изделия, которое быстро вращается. Охлаждение действует непрерывно на расстоянии 10—20 *мм* от горелки	Для изделий цилиндрической формы большой длины: валов, шпинделей, штоков и т. п.

Применяют три вида нагрева в электролите: 1) концевой для нагрева конца изделий; 2) поверхностный для иагрева поверхности изделий;



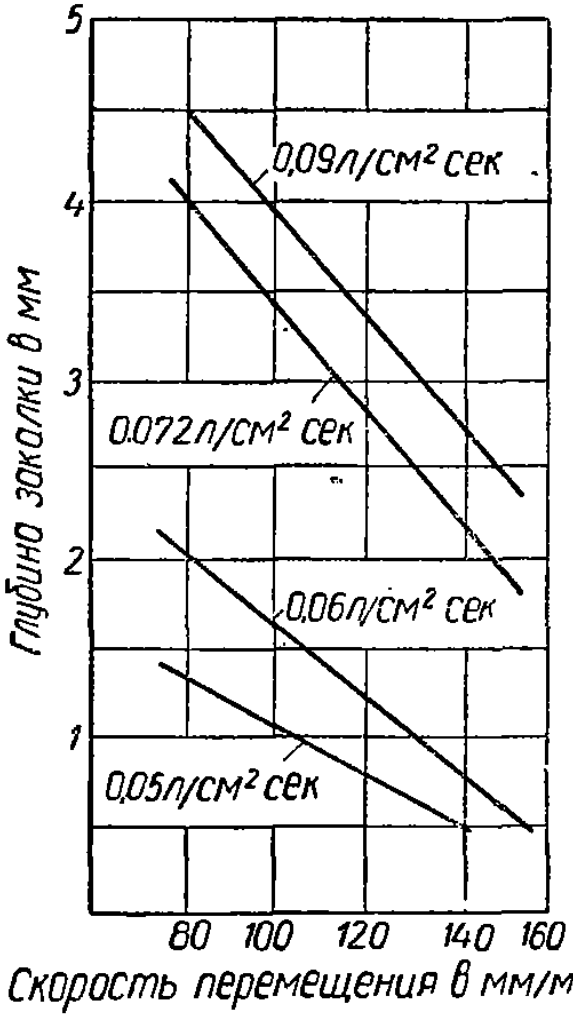
Фиг. 15. Схема профилей закалочных наконечников:
а — плоский прямолинейный профиль; *б* — угловой профиль;
в — кольцевой профиль для закалки внутренней поверхности;
д — модульный профиль.

3) последовательиый, при котором изделие постепенно пропускается через электролит.

Поверхностная закалка при нагреве газокислородным пламенем (пламенная закалка) заключается в нагреве участка изделия, подлежащего закалке газокислородным пламенем и в последующем охлаждении. Глубина закалки 1—6 *мм*. Охлаждение производят спрейером.

В качестве горючего газа наибольшее применение имеет ацетилен: температура пламени 3150°С; теплотворная способность 12600 *ккал/м*³. Из 1 *кГ* карбида кальция получается 0,25—0,3 *м*³ ацетилена.

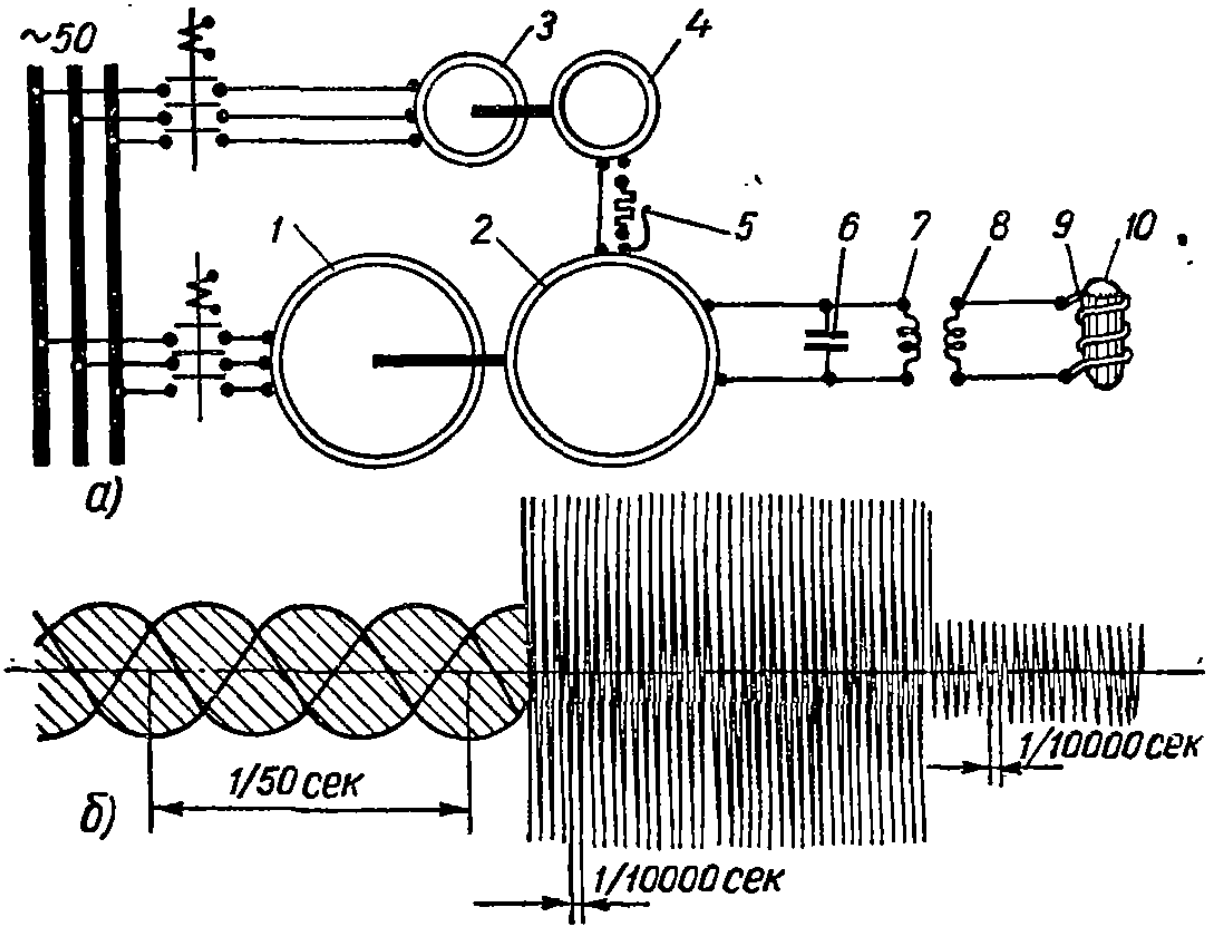
Газовые горелки, применяемые для нагрева под закалку, должны соответствовать профилю закаливаемого изделия (фиг. 15). Этим обеспечивается равномерность нагрева и закалка изделия за один проход. Охлаждение производится водой при помощи спрейера. Расход воды при закалке 0,3—0,5 *л/мин* на 1 *см*² охлаждаемой поверхности. Чем меньше расстояние горелки до закаливаемого изделия и чем меньше скорость движения, тем больше глубина закалки (фиг. 16).



Фиг. 16. График зависимости глубины закалки от скорости перемещения горелки в *м/мин* и расхода газа в *л/см*.

При стационарном и вращательном способах закалки легированной стали охлаждение производится в масле погружением или сжатым воздухом в зависимости от закаливаемости стали. Закалка изделий больших размеров производится в специальных закалочных станках, обеспечивающих требуемые направления и скорость движения изделия и горелки.

В настоящее время созданы и работают специальные установки для закалки шестерен всех модулей и других изделий (стр. 248).



Фиг. 17. Схемв установки машиниого генератора:

а — схема установки; *б* — схема преобразоваиия тока; *1* — двигатель перемеиного тока; *2* — генератор повышеннои частоты; *3* — электродвигатель; *4* — возбудитель; *5* — реостат; *6* — коиденсаторная батарея; *7* — первичиая обмотка траисформатора токов повышеиной частоты; *8* — вторичная обмотка траисформатора; *9* — индуктор; *10* — изделие.

При закалке ТВЧ иагрев изделия происходит в электромагнитном поле, возникающем в индукторе при протекании через него ТВЧ. Глубина нагрева зависит от частоты тока (2500—8000 *гц* —повышенная частота и от 70000 *гц* и выше — высокая). На фиг. 17 и 18 представлены схемы преобразования тока.

Глубина проникиовения тока в металл в *мм* подсчитывается по формуле

$$P = 50300 \sqrt{\frac{\varrho}{\mu f}},$$

где ϱ — удельное сопротивление материала проводника в *ом/мм*;

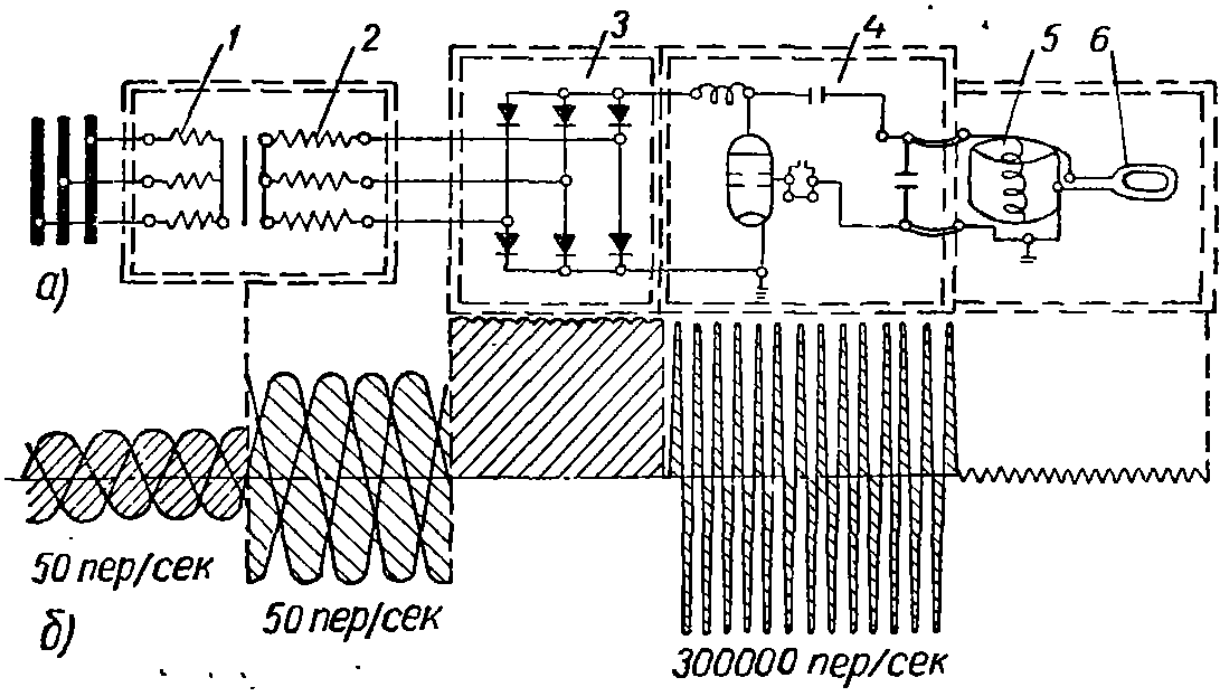
μ — магнитная проницаемость материала проводника в *гс/э*;

f — частота тока в *гц*.

Схема распределения тока в проводнике и глубина проникновения в него при разных частотах приведены на фиг. 19 и в табл. 75.

Практически важно знать глубину проникновения тока при температуре выше точки Кюри, т. е. горячую глубину; она для конструкционных сталей приближенно подсчитывается по формуле

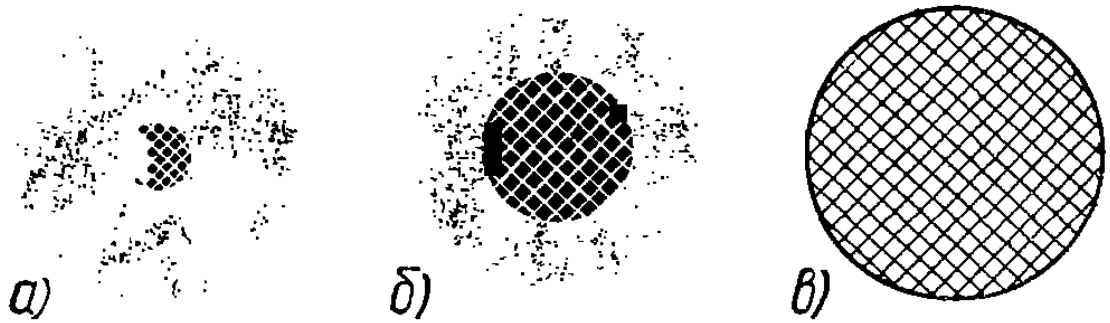
$$P_{гор} = \frac{600}{\sqrt{f}} \text{ мм.}$$



Фиг. 18. Схема установки лампового генератора:

а — схема установки; *б* — схема преобразования тока; *1* — первичная обмотка трансформатора; *2* — вторичная обмотка трансформатора; *3* — газотронный выпрямитель; *4* — анод генераторной лампы; *5* — высокочастотный трансформатор; *6* — индуктор.

По данным работы [42], оптимальные сочетания прочности и пластичности получаются при глубине закаленного слоя, равной примерно 5—10% от диаметра изделия. Зависимость глубины $x_к$ закалки от диаметра изделия представлена на фиг. 20.



Фиг. 19. Схема распределения тока в проводнике:

а — при частоте 50 *гц*; *б* — при частоте 2500 *гц*; *в* — при частоте 250 000 *гц*.

Выбор способа закалки определяется главным образом мощностью установки ТВЧ (табл. 76). Требуемая мощность подсчитывается по формуле

$$P = Sq \text{ квт},$$

где S — площадь поверхности изделия, подлежащая одновременному нагреву, в $см^2$;

q — удельная мощность в $квт/см^2$.

Глубина проникновения тока в *мм* в некоторых металлах при различных частотах и температурах [43]

Металл	Температура в °С	Удельное сопротивление	Магнитная проницаемость	Чистота тока в *гц*						
				50	1000	2500	8000	150000	250000	500000
Конструкционная сталь	20	10	60	2,8	0,64	0,4	0,22	0,05	0,04	0,03
Аустенитная сталь	20	20	1	32,2	7,15	4,5	2,5	0,58	0,46	0,32
Сталь конструкционная и аустенитная	1000	130	1	85,5	19,0	12,0	6,7	1,55	1,2	0,85
Алюминий	20	2,9	1	12,0	2,7	1,7	0,95	0,21	0,17	0,12
»	600	11,3	1	24,0	5,4	3,4	1,7	0,42	0,34	0,24
Красная медь	20	2,0	1	9,5	2,1	1,34	0,75	0,16	0,13	0,095
Латунь Л-59	20	7,0	1	18,7	4,2	2,57	1,48	0,32	0,26	0,19
»	850	14,7	1	27,4	6,1	3,86	2,16	0,47	0,39	0,27
Серебро	20	1,5	1	8,7	1,93	1,22	0,68	0,15	0,12	0,087

Таблица 76

Способы закалки ТВЧ

Способы	Применение
Одновременная закалка всей подлежащей обработке поверхности	При закалке изделий дискового типа
Последовательная закалка отдельных участков изделия. Каждый участок, подвергаемый закалке, греется способом одновременного нагрева. При закалке изделий с большой поверхностью закаливаемых участков нагрев ведется непрерывно-последовательным способом	При закалке зубьев шестерен, шеек валов и т. п.
Непрерывно-последовательная закалка	При закалке длинных изделий. Цилиндрические изделия рекомендуется вращать для получения закаленного слоя одинаковой толщины, скорость вращения 50—200 *об/мин*

Ниже приведены данные о зависимости удельной мощности от размеров изделия при нагреве их на машинных генераторах.

Диаметр изделия в мм	*40—70*	*70—100*	*110—150*	*150—195*	*200*
Наименьшее значение удельной мощности в *квт/см²*	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4

Для ориентировочного определения режима высокочастотного нагрева цилиндрических изделий из конструкционных сталей предложен [43] график (фиг. 21). Зазор между изделием и индуктором обычно принимается равным от 2 до 6 *мм*.

Весьма малый зазор может привести к соприкасанию изделий и индуктора или же к пробою воздушного пространства между ними, а также вызвать перегрев наружного слоя, особенно при работе на ламповых генераторах. Больший зазор применяется при пайке и для получения большей глубины закаливаемого слоя. Расстояние между витками в многовитковом индукторе для обеспечения равномерности нагрева должно быть наименьшим. В практике это расстояние принимается примерно равным 2 *мм*.

При одновременном нагреве высота индуктора должна быть меньше высоты нагрева на 2 зазора между индуктором и изделием.

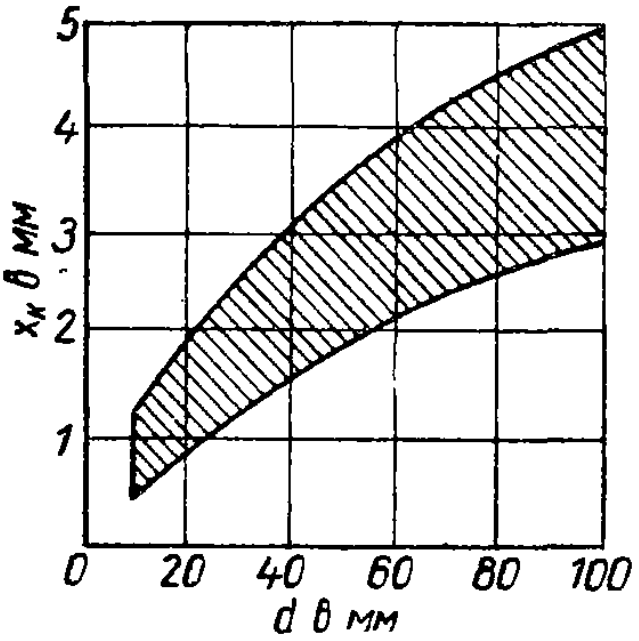
При непрерывно-последовательном способе, когда глубина проникновения тока P в изделие равна или больше заданного закаленного слоя δ, высота индуктора

$$h_{инд} = (0{,}5 \div 1{,}0)\ \delta\ см,$$

а когда $P < \delta$,

$$h_{инд} = (1{,}5 \div 2{,}5)\ \delta\ см.$$

Отверстия, пазы и другие неровности в изделиях, нагреваемых ТВЧ, во избежание перегрева или оплавления кромок следует заполнять медными, латунными или размоченными в воде деревянными вставками.

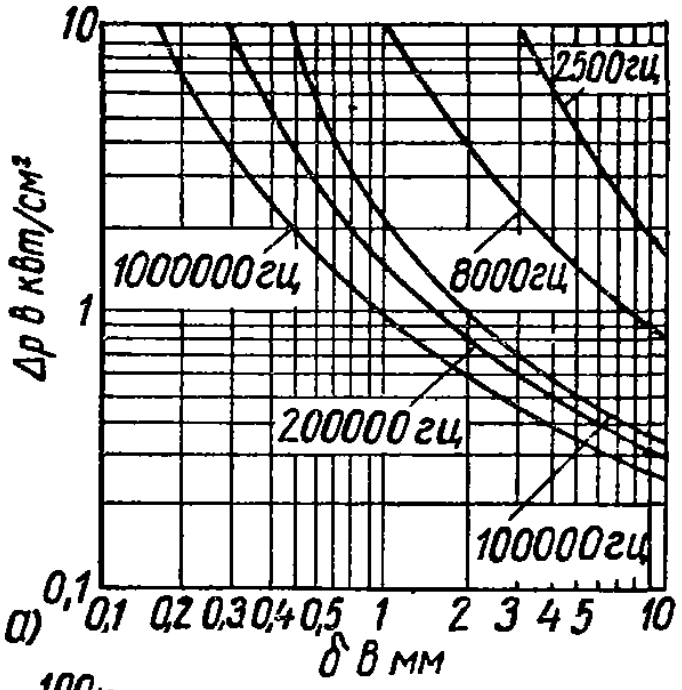


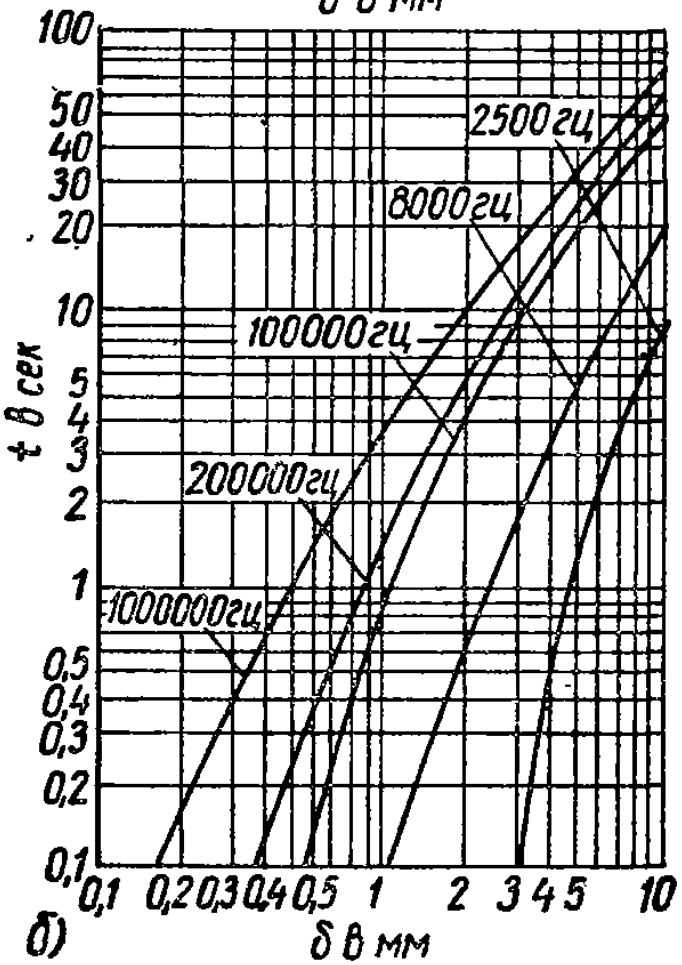
Фиг. 20. График зависимости рекомендуемой глубины закаленного слоя от диаметра изделия.

При нагреве изделий с острыми гранями с той же целью рекомендуется применять фасонный индуктор, в котором острая грань изделия была бы удалена от стенки индуктора на значительно большее расстояние, чем остальная его часть.

Закалка внутренних поверхностей ТВЧ представляет трудности в связи со значительным падением к. п. д. индуктора. Методом повышения к. п. д. в этих случаях является применение магнитопроводов, предназначенных для концентрации потока магнитных силовых линий в нужном направлении (фиг. 22).

Магнитопроводы при нагреве токами частотой 2500—8000 *гц* набирают из пластин трансформаторной стали, изолированных друг от друга теплостойким лаком. Толщина пластин, обеспечивающая наименьшие потери в магнитопроводе, не должна превышать





Фиг. 21. График для ориентировочного определения режима индукционного нагрева поверхностного слоя стали толщиной до 10 *мм* при различных частотах питающего тока:

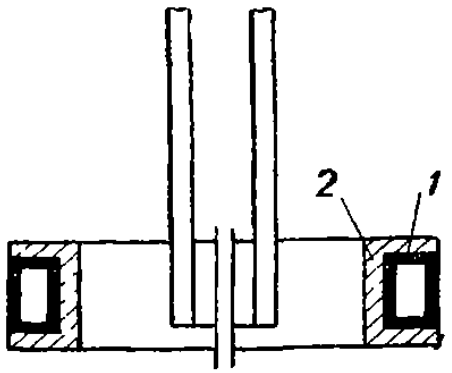
а — значения удельной мощности;
б — время нагрева.

$$n = \frac{5 \div 10}{\sqrt{f}} \text{ мм.}$$

Магнитопроводы при нагреве токами частотой свыше 70000 *гц* изготовляют из специальной керамики — оксиферов.

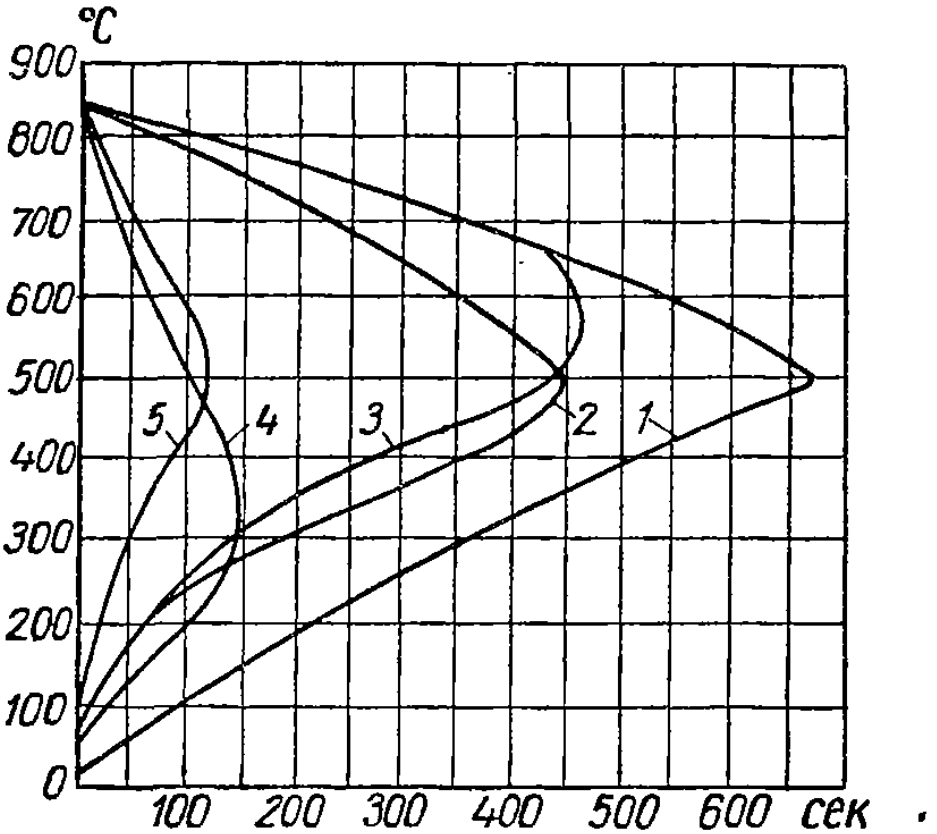
Состав оксиферов, которые можно изготовить в лаборатории любого завода: окись цинка 18%, окись железа 66%, окись меди 4% и закись никеля 12%.

Смесь подвергают мокрому помолу в шаровой мельнице в течение 24 *ч*. Приготовленную массу подсушивают в термостате при 200°С, просеивают через сито № 20—30 и обжигают в муфельной электропечи со свободным доступом воздуха при 1000°С. Вторичный помол производят в сухом виде в шаровой мельнице, полученный порошок пропускают через сито № 60—70. В порошок добавляют разведенный в воде поливиниловый спирт по весу 1 : 10. Поливиниловый спирт растворяют при подогревании смеси до 70°С. Доводить раствор до кипения нельзя. Полученную массу порошка со спиртом прессуют в специальных пресс-формах при давлении от 250 до 1000 *кГ/см²* с учетом припуска 10—12% на



Фиг. 22. Индуктор с магнитопроводом из трансформаторного железа:

1 — активный провод; *2* — магнитопровод.



Фиг. 23. Охлаждающая способность различных закалочных сред при 18° С:

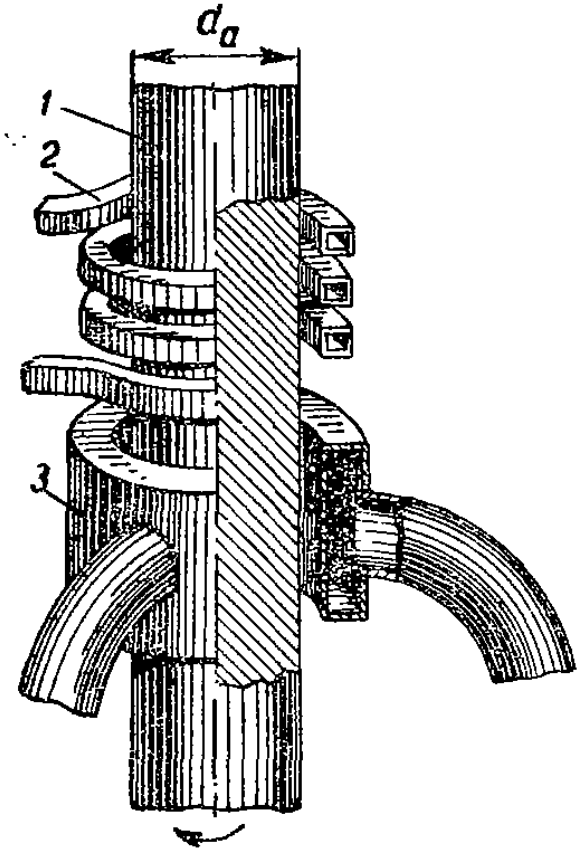
1 — вода; *2* — 30-процентный раствор глицерина; 3—5%-процентный раствор марганцовокислого калия; *4* — 15-процентная эмульсия; *5* — масло.

усадку при обжиге. Опрессованные заготовки сушат при 50—60°С. в течение двух суток, а затем спекают при 500—600°С. После спекания заготовки механически обрабатывают до получения нужной формы, затем обжигают при 1100°С со скоростью нагрева не более 300°С и охлажденни 50°С/*ч*.

Лучшим материалом для изготовления индукторов является красная медь. Латунь применяют только при отсутствии красной меди. Обычно индукторы изготовляют из красномедных трубок, профилированных на квадратное или прямоугольное сечение, по которым во время работы протекает вода для их охлаждения.

Индукторы для изделий сложной конфигурации изготовляют также разъемные, литые или кованые. Толщина стенок индуктора, охлаждаемого водой, находится в пределах 0,5—2 *мм*, а неохлаждаемого — 7—10 *мм*.

Для предохранения индуктора от соприкасания с изделием его обматывают асбестовым шнуром, пропитанным жидким стеклом.



Фиг. 24. Схема взаимного расположения индуктора и спрейера при закалке валика:
1 — валик; *2* — индуктор; *3* — спрейер.

Пайку индуктора производят твердыми припоями.

Закалку нагретых ТВЧ изделий в зависимости от марки стали производят в воде, в водных растворах, в масле или на воздухе. Закалка в масле возможна только при одновременной закалке методом погружения.

На фиг. 23 приведены кривые, характеризующие охлаждающую способность некоторых закалочных сред. Вопреки существующему мнению о непригодности подогретой воды как охлаждающей среды при закалке ТВЧ ряд передовых заводов нашей страны применяет подогретую до 45—50°С воду при закалке изделия из легированной стали 35ХН и других и не имеют случаев брака.

При одновременной закалке изделий, охлаждаемых водой или растворами на ее основе. роль спрейера может выполнить индуктор (фиг.24), во внутренней части которого имеется большое количество отверстий.

При закалке непрерывно-последовательным способом охлаждение производится при помощи спрейера или индуктора, в котором отверстия диаметром 1—2 *мм* направлены вниз под углом 20—30° к оси изделия. Это делается для того, чтобы вода преждевременно не заливала нагреваемое изделие.

Температура нагрева в зависимости от скорости нагрева для некоторых марок сталей приведена в табл. 77.

Качество высокочастотной закалки контролируется измерением твердости и микроструктурным анализом. В структуре не должно быть свободного феррита и следов перегрева.

Изделия, прошедшие закалку ТВЧ, проходят отпуск на общих основаниях.

Сущность метода термомеханической обработки стали состоит в том, что металл, переведенный нагреванием в аустенитное состояние, охлаждают до температуры длительной устойчивости аустенита, примерно 550°С, при которой заготовку подвергают пластической деформа-

Таблица 77

Рекомендуемые температуры закалки некоторых марок отожженной стали при нагреве ТВЧ

Марка стали	Температура нагрева в °С при скорости нагрева выше A_{c_1} *град/сек*		
	Продолжительность нагреаа выше A_{c_1} *сек*		
	30—60 / 2—4	100—200 / 1,0—1,5	400—500 / 0,5—0,8
35	910—950	930—970	980—1070
40	890—980	910—960	960—1040
45, 50	880—920	900—940	950—1020
50Г	860—900	880—920	980—1000
65Г	840—880	860—900	920—980
35Х	940—980	960—1000	1000—1060
40Х, 45Х, 40ХНМ	920—960	940—980	980—1050
40ХН	900—940	920—960	960—1020
У8А	820—860	840—880	900—960
ХВГ	840—880	860—900	900—950

ции под молотом или прессом, а потом ее закаливают на мартенсит в масле или воде.

Сталь, подвергнутая термомеханической обработке, приобретает твердость примерно *HRC* 60, $\sigma_в$ до 350 *кГ/см*^{2} и $\delta = 6 \div 8\%$.

6. Отпуск

Отпуск применяют для уменьшения или полного снятия напряжений, уменьшения твердости закаленной стали и увеличения пластичности.

Отпуск является обязательной операцией для стали, закаленной на мартенсит любым способом.

Для отпуска закаленную сталь нагревают до температуры ниже A_{c_1}, выдерживают и затем охлаждают. Нагрев при отпуске производят в масляных, соляных и щелочных ваннах, а также в печах с воздушной атмосферой. Общее время пребывания изделия в воздушной печи при отпуске составляет примерно 2—3 *мин* на 1 *мм* наименьшего сечения, но не менее чем 30—40 *мин* (табл. 78). Обычно охлаждение после отпуска производится на воздухе.

Во избежание растрескивания изделий отпуск рекомендуется производить немедленно после закалки.

Некоторые стали во избежание появления отпускной хрупкости охлаждают после отпуска в интервале температур 450—650°С в воде или масле для изделий размером свыше 20 *мм* и вразброс на воздухе для изделий меньших размеров; это стали: хромистая, хромокремнемарганцевая, хромоникельванадиевая, хромоникелевая, хромокремнистая

Таблица 78

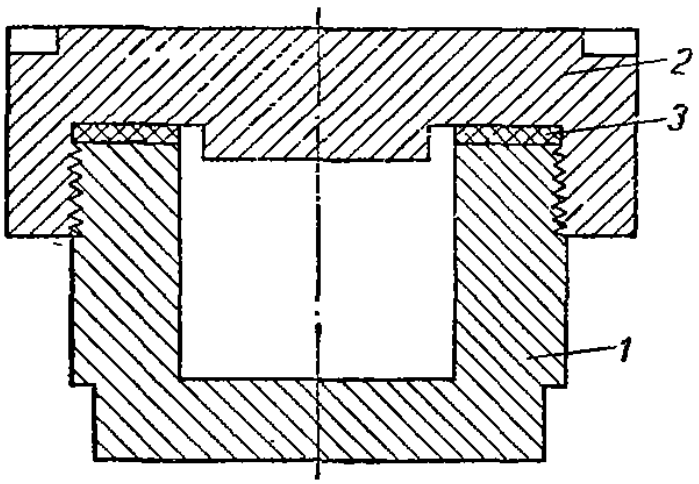
Ориентировочная выдержка при температуре отпуска

Диаметр или толщина инструмента в *мм*	Тип печи	Выдержка при температуре отпуска в *ч*
До 20	Шахтная электропечь, ПН-31, ПН-32 или ПН-34	1,0
21—40		1,5
41—60		2,0
Свыше 60		2,5

Примечание. В ваннах с жидкой средой время можно уменьшить на 50—60%.

хромомарганцевая, хромоалюминиевая. Сталь 50ХФА охлаждают в горячей воде или масле.

Отпуск на цвет побежалости концевых частей изделия производится в свинцовых и соляных ваннах, а также на установках ТВЧ, где скорость нагрева и получение требуемого цвета побежалости регулируется расстоянием между индуктором и изделием.



Фиг. 25. Приспособление для светлого отпуска:
1 — стакан; *2* — крышка; *3* — асбест.

В настоящее время на некоторых заводах начинают производить отпуск на установках ТВЧ за счет неполного охлаждения изделий при закалке — самоотпуск. Изделие, нагретое под закалку на высокочастотной установке, охлаждают в течение времени, определенного подсчетом или, чаще всего, опытным путем. В требуемый момент охлаждение автоматически выключают, и изделие нагревается до температуры отпуска за счет внутреннего тепла. Этот способ применим на заводах с массовым или крупносерийным производством с хорошо развитой автоматикой.

Изделия, прошедшие светлую ступенчатую закалку, для сохранения светлой поверхности отпускают (фиг. 25) в щелочных ваннах или в специальных кассетах.

После шлифования во избежание коробления и растрескивания изделия подвергают низкому отпуску при 120—160° С, называемому также старением, при выдержке 2—3 *ч*.

7. Улучшение

Улучшением называется процесс термической обработки, заключающийся в закалке стали с последующим высоким отпуском при 500° С и выше.

Улучшение применяется для измельчения структуры, а также для получения наилучшего сочетания прочности и вязкости конструкционной стали, главным образом легированной.

8. Патентирование

Патентирование заключается в нагреве стальной проволоки или ленты до температуры выше A_{c_3} с последующим охлаждением в течение определенного времени в свинцовой или соляной ванне при температуре 450—550° С. Применяют с целью создания однородной феррито-цементитной смеси, обеспечивающей высокие механические свойства при последующем волочении.

Глава V

ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ

Химико-термическая обработка заключается в нагреве изделия до заданной температуры в специально выбранной химически активной среде, выделяющей при нагреве атомарный углерод, азот и другие элементы. В результате взаимодействия со средой поверхность изделия изменяет свой химический состав.

Изделия, прошедшие химико-термическую обработку, в зависимости от вида обработки приобретают поверхностную твердость, повышенную сопротивляемость коррозии, жаростойкость, износостойкость, а также способность закаливаться.

1. Цементация

Процесс пементации заключается в насыщении поверхностного слоя стали углеродом. Выделение атомарного углерода происходит:

1. При твердой цементации по реакции

$$2CO \rightleftarrows CO_2 + C_{атом.}$$

Присутствующие в твердом карбюризаторе углекислые соли ускоряют процесс цементации, увеличивая количество окиси углерода по реакции

$$BaCO_3 = BaO + CO_2;$$
$$CO_2 + C = 2CO.$$

2. При газовой цементации по реакции

$$CH_4 \rightleftarrows 2H_2 + C.$$

Цементованные изделия после закалки приобретают весьма высокую твердость поверхностного слоя, сохраняя вязкую сердцевину.

Цементации подвергаются изделия из углеродистой и легированной сталей с содержанием углерода до 0,25%. Для изделий массивных несложной формы и изделий, у которых требуется повышенная прочность сердцевины, можно применять сталь с содержанием углерода до 0,3—0,4%.

В практике заводов находит применение цементация инструментальных, по преимуществу легированных хромистых сталей, закаливаемых в масле. Цементации подвергаются штампы для холодной штамповки несложной формы, вытяжные и т. п. В результате цементации резко повышается износоустойчивость этого инструмента.

Цементоваиный инструмент не рекомендуется подвергать шлифовке, так как наиболее ценный в части изнссоустойчивости слой — поверхиостный—будет снят. Режим цементации обычный, глубина слоя в пределах 1 *мм*. Процесс закалки следует производить осторожно, соблюдая все правила предосторожности против коробления и обезуглероживания. Температура закалки 800—820° С. Отпуск низкотемпературный.

Цементация в твердом карбюризаторе. Состав карбюризаторов (в % по весу) приведен ниже.

Состав	№ карбюризатора								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Древесный уголь	74—78	65	87	85—90	90	—	60	45	98
Углекислый барий	12—15	10	—	—	10	—	40	12	2
Сода кальцинированная	1,0—1,5	1	10	10—15	—	10—15	—	—	—
Углекислый кальций	3,5	1	3	—	—	—	—	—	—
Кокс	—	20	—	—	—	—	—	43	—
Торфяной кокс . .	—	—	—	—	—	85—90	—	—	—
Мазут	4,5—5,0	3	—	—	—	—	—	—	—

Влажность карбюризатора не должна превышать 5—7%. Для цементации применяют смесь из 20—30-процентного свежего карбюризатора и 70—80% отработавшего. Цементуемые изделия должны быть сухими и очищенными от окалины, ржавчины, грязи, масла и т. п. Для упаковки применяют ящики из жаростойкой стали, а при ее отсутствии — из обычной конструкционной стали, толщина стенки ящика 4—6 *мм*. Форма ящиков по возможности должна приближаться к форме цементуемого изделия. При упаковке изделий в ящики расстояние между ними, а также между стенкамн ящика и изделиями должно быть не менее 10—15 *мм*.

Обмазку ящика производят смесью из двух частей огнеупорной глины и одной части речного песка, разведенных водой до тестообразного состояния.

Ящик устанавливается в нагретую до требуемой температуры печь.

Для получения одинакового по глубине цементационного слоя всех изделий при 780—800° С ящик следует прогреть насквозь, после чего поднять температуру до 900—950° С, и момент прогрева считать за начало выдержки при цементации (табл. 79).

Таблица 79

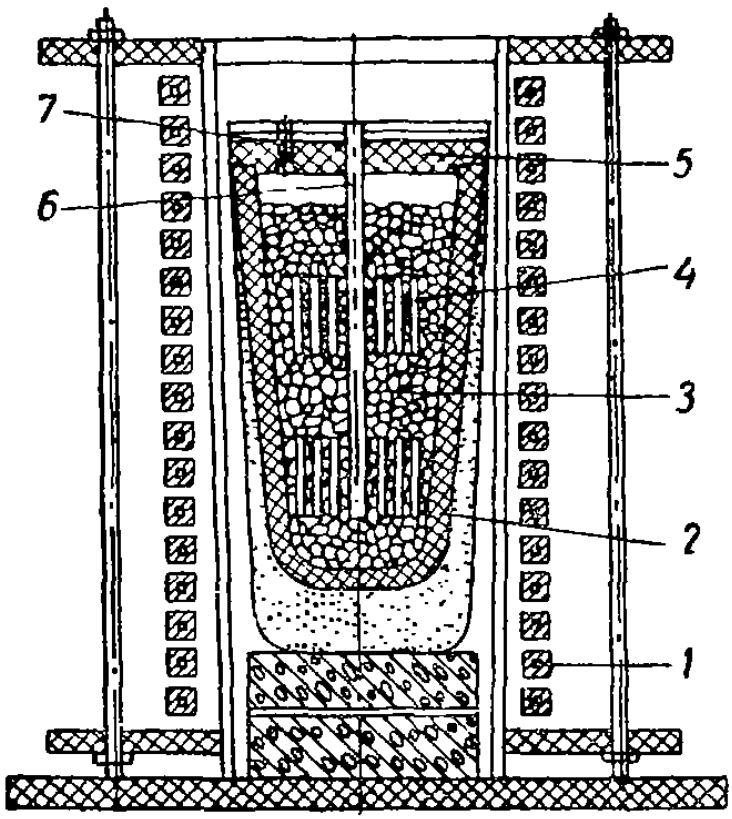
Ориентировочная продолжительность выдержкн для получения заданной глубины слоя при цементации твердым карбюризатором. Температура цементации 900—950°С

Размер наименьшего сечення ящнка в *мм*	Глубниа цементованного слоя в *мм*							
	0,25	0,5	0,7	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4
	Общая продолжнтельность пребывання изделия в печи в *ч*							
100	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	7,5	8,0	8,5
150	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5
200	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5
250	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	12,5

Свидетели для определения глубины цементации диаметром 6—10 *мм* изготовляются из той же стали, что и цементуемые изделия, или из стали 15—20.

За глубину цементации принимается толщина заэвтектоидной, эвтектоидной и половину доэвтектоидной (переходной) зоны, просматриваемой под микроскопом на незакаленном шлифе.

После предполагаемого окончания цемеитации наружный свидетель вынимают из ящика, закаливают и травят излом в течение 1 *мин* реактивом, состоящим из 100 *см*^{3} денатурированного спирта, 1 *см*^{3} соляной кислоты и 2 *г* хлористой меди. Цементованная сердцевина покрывается медью. Можно также определять глубину цементации отпуском закаленного изломанного свидетеля до появления цвета побежалости: цементованный слой и сердцевина окрашиваются в разные цвета.



Фиг. 26. Схема установкн для цементацин в твердом карбюризаторе при нагреве ТВЧ: *1* — нндуктор; *2* — тигель; *3* — карбюризатор; *4* — изделия; *5* — крышка; *6* и *7* — отверстия для термопары и вывода избыточных газов.

Охлаждают ящики после цементации на воздухе.

Опыты в производственных условиях [48] указывают на возможность повышения температуры цементации до 980° С при условии двойной закалки.

Предложен [49] способ цементации в твердом карбюризаторе при нагреве ТВЧ, что имеет большое значение в мелкосерийном производстве и для выполнения весьма спешных работ. На фиг. 26 представлена схема установки. Температура цементации 1000—1100° С. Состав карбюризатора: уголь и 8—10% углекислого бария. Для предотвращения контакта изделия с карбюризатором и возможного оплавления изделия обмазывают сметанообразным раствором мела в воде и подсушивают при 30—60° С. После цементации требуется двойная закалка.

Цементация пастами. В табл. 80 приведен состав паст, применяемых для цементации. Приготовленный порошок любой из указаниых паст разводят 15-процентным раствором патоки или канцелярского клея в воде до состояния, при котором можно производить окраску.

Пасту слоем в 3—4 *мм* наносят на цементуемое изделие или на часть его кистью или погружением, после чего изделия просушивают и укладывают в ящики с песочными затворами (см. фиг. 29).

Температура цементации пастами 920—930° С, ориентировочная скорость цементации 1 *мм/ч*.

После цементации изделия охлаждают на воздухе или закаливают непосредственно из ящика.

Газовая цементация. При газовой цементации изделия нагревают в атмосфере газов, содержащих углерод.

Таблица 80

Состав паст для цементации

Составляющие пасты	Номера пасты						
	Сталит		3	4	5	6	7
	1	2					
	Состав в весовых процентах						
Голландская сажа или кокс	30—60	30—60	30—60	35	45	40	50
Углекислый барий . . .	—	—	—	15	20	15	—
Углекислый натрий или калий	20—40	20—40	30—60	20	20	20	40
Цианплав ГИПХ	5—10	5—10	—	—	—	—	—
Щавелевокислый натрий или калий	—	5—10	5—10	—	—	—	10
Муравьинокислый никель или щавелевокислый кобальт	—	5—10	—	—	—	—	—
Феррохром (для углеродистой стали)	—	—	15	15	—	—	—
Песок	—	—	—	—	—	5	—
Желтая кровяная соль	5—10	5—10	—	15	15	20	—

Примечание. Состав цианплава ГИПХ см. в табл. 88.

В качестве цементующих газов применяются: 1) естественные газы (дашавский, саратовский и др.), 2) искусственные газы (генераторный, пиролизный и др.).

Наибольшее применение имеет искусственный газ, получаемый путем разложения (пиролиза) нефтепродуктов. Изготовление этого газа в специальных установках является дорогой и сложной операцией; в настоящее время она вытеснена способом разложения нефтепродуктов непосредственно в муфеле методической печи или в реторте шахтной печи. Подают карбюризатор в муфель методической печи через форсунку при помощи топливного насоса, что также рекомендуется и для шахтных печей взамен подачи самотеком из-за непостоянства дозировки [46].

В качестве карбюризатора применяют керосин, бензол, пиробензол, веретенное масло, синтин, профильтрованные для очистки от механических примесей.

В табл. 81 даны результаты пиролиза некоторых карбюризаторов по выходу сажи, кокса и газа:

Таблица 81

Результаты пиролиза некоторых карбюризаторов по выходу сажи, кокса и газов

Карбюризатор	Выход газа на 1 $см^3$ карбюризатора в $л$	Выход сажи и кокса из 1 $см^3$ карбюризатора в $г$
Бензол	0,42	0,60
Пиробензол	0,58	0,54
Керосин	0,73	0,39
Синтин	0,80	0,28

В табл. 82 приведены данные о количестве капель керосина, которые рекомендуется подавать в шахтные печи разных размеров при цементации. Эти цифры составлены на основании данных литературы и практики ряда заводов. Автор считает целесообразным за час до окончания

Таблица 82

Количество капель керосина в минуту, которое рекомендуется подавать в шахтные печи разных размеров при цементации

Время подачи	Тип печей					
	Ц25	Ц35	Ц60	Ц75	Ц90	Ц105
В период подогрева при достижении температуры 800° С . . .	20—40	40—50	70—80	90—100	120—140	160—180
При достижении температуры 900° С . . .	60—70	70—80	110—130	160—180	200—220	240—260

процесса газовой цементации прекращать подачу карбюризатора для того, чтобы в этот период углерод диффундировал в глубь изделий и не пресыщал поверхностный слой. Особенно важно это при больших глубинах цементации.

Ввиду того, что скорость поглощения углерода поверхностью изделия снижается по мере увеличения длительности выдержки, на ряде заводов в первые часы цементации подают в печь максимальное количество капель керосина, а затем подачу его снижают (табл. 83).

Таблица 83

Количество капель керосина, которое рекомендуется подавать в шахтные печи при цементации

(по Чирикову В. Т.)

Печь	Подача керосина в первый период		Количество капель керосина в минуту, подаваемых в остальное время
	Количество капель в минуту	Время подачи в *ч*	
Ц25, Ц35	70—80	2—3	20
Ц60, Ц75	100—120	2—3	30—40
Ц90, Ц105	200—300	2—3	50—70

Время выдержки при газовой цементации в печах серии Ц при температуре 900—950° С ориентировочно определяют из приведенного ниже ряда.

Время выдержки в *ч*	2—3	1 —5	6 —7	8 —9	9—10	
Глубина слоя в *мм*	0,3—0,5	0,6—0,7	0,8—1,0	1,1—1,2	1,2—1,4	

Время выдержки следует отсчитывать с момента достижения 900° С.

Примерный состав отходящих газов: углекислого газа 0,5%, кислорода 0,5%, непредельных углеводородов 1,0%. Избыточное давление обычно колеблется в пределах 8—25 *мм вод. ст.*

Газовую цементацию производят также путем подачи природного газа непосредственно в печь. Дозировку осуществляют шайбами с калиброванными отверстиями.

На заводе Ростсельмаш цементация природным газом производится при расходе 0,75 $м^3/ч$ для печи Ц90 и 0,85 $м^3/ч$ для печи Ц105. Общее время процесса для глубины цементации 1,2—1,6 *мм* равно 9—10 *ч.*

Регулирование процесса газовой цементации можно производить автоматически по состоянию углеродного потенциала цементирующей среды путем определения точки росы [50].

Жидкая цементация. Состав ванны: кальцинированная сода 70—74%, поваренная соль 9—12%, хлористый аммоний 8—9%, карборунд 9—10%. Карборунд черный, крупнозернистый с размерами зерна 25—80. Хлористый аммоний активизирует процесс.

Сначала расплавляют соду и соль, после чего вводят хлористый аммоний. После того как ванна нагреется до температуры 850—870° С, в нее загружают карборунд.

Хлористый аммоний и карборунд во избежание улетучивания и быстрого выгорания вводят в ванну в бумажных пакетах, перевязанных проволокой, погружают ломиком, дырчатым колоколом или чем-либо иным на дно ванны и выдерживают там до расплавления, после чего ванну доводят до температуры цементации при непрестанном перемешивании. Процесс сопровождается пенообразованием, иногда настолько сильным, что следует временно снизить температуру ванны.

Для защиты ванны от окисления оставляют слой шлака, равный 10—15 *мм*, а остаток удаляют. Количество соли должно быть не более $^2/_3$ высоты ванны, а оставшееся место должно быть предназначено для пенообразования.

Изделия, подвергаемые цементации, должны быть сухими и чистыми. Цементацию производят при температуре 850—900° С. Выдержка зависит от требуемой глубины цементации. Закалка в воде или масле в зависимости от марки стали.

Ванну надо освежать через каждые 5—8 *ч* работы путем добавления карборунда в количестве 2,5% от веса солей. Ниже приведена ориентировочная продолжительность цементации в жидком карбюризаторе в зависимости от глубины цементации:

Глубина цементованиого слоя в *мм*	0,4	0,6	0,8	1,0
Продолжительность процесса в *ч*	1	1,5	2	3

Полную замену солей производят через 3—4 недели непрерывной работы ванны, так как она густеет и плохо науглероживает.

Практически контроль ванны производят по таким признакам: 1) выделение большого количества языков пламени и пенообразование (для нормального состояния ванны); 2) изделия должны иметь ровный серебристый цвет (темные пятна указывают на истощение ванны). Примерный расход карборунда 10—12 *кГ* на 1 *Т* изделия.

Способы предохранения поверхностей изделий, не подлежащих цементации. 1. Оставление припуска, который после цементации удаляется на станках.

2. Накладывание обмазок (табл. 84).

Таблица 84

Обмазки, применяемые для защиты от цементации

Состав обмазки в %	Способ приготовления
Однохлористая медь 70 Свинцовый сурик 30	Порошки тщательно смешивают и разводят на спиртовом канифольном лаке (250 *г* лака на 1 *л* этилового спирта). Обмазку наносят на изделие слоем при помощи кисточки. Толщина слоя 0,5—1 *мм*
Кремнезем 60 Глинозем 35 Окись железа 3 Окись титана 0,25 Окись магния 1,75	Паста состоит из жидкой (20—25%) и твердой (75—80%) частей по объему. Жидкая часть состоит из 80% жидкого стекла и 20% воды. Перед употреблением перемешивают обе части и наносят обмазку кистью на изделие. После просыхания (через 30—40 *мин*) наносят второй слой
Песок 40 Глина огнеупорная 44 Бура 10 Селитра натриевая 3 Окись свинца 3	Обмазку замешивают на жидком стекле и ровным слоем наносят на изделие. Глину хорошо растирают
Тальк 50 Глина огнеупорная 25 Вода 25	Глину хорошо растирают. Обмазку замешивают на жидком стекле до сметанообразного состояния
Шамотная глина 90—95 Асбестовый порошок 5—10	Разбавляется водой до тестообразного состояния
Свинцовый сурик * 14,2 Окись алюминия 28,6 Тальк 57,2	Разводят в тройном по весу количестве жидкого стекла (плотность 1,4—1,5) и наносят на изделие слоем 0,8—1 *мм*

* Применяется при высокотемпературной цементации.

3. Омеднение. Необходимую толщину медного защитного слоя в зависимости от глубины цементации определяют из приведенного ниже ряда.

Требуемая глубина цементации в *мм* . .	До 0,8	0,8— 1,2	Свыше 1,2
Толщина медного слоя в *мм*	0.02	0,03—0,05	0,05—0,08

4. Хромирование (при высокотемпературной цементации).

Для защиты отверстий от цементации применяют смесь кварцевого песка с окалиной (обычно из закалочных баков) или в отверстия забивают металлические пробки.

Режимы термической обработки цементованных изделий приведены в табл. 85.

Таблица 85

Режимы термической обработки цементованных изделий

Режим термической обработки	Случаи применения	Примечание
Закалка с 860—900° С Закалка с 760—800° С Отпуск при 160—180°С	Для природно крупнозернистой стали, склонной к перегреву. При особо высоких требованиях к свойствам цементованных изделий. Для изделий, прошедших высокотемпературную цементацию	
Закалка с 800—850° С Отпуск при 160—180° С	Для природно мелкозернистой стали. Для малоответственных изделий из углеродистой природно крупнозернистой стали	
Отпуск при 640—650°С Закалка с 850—860° С Отпуск при 160—180°С Обработка холодом Отпуск при 160—180°С	Для высоколегированной стали (типа 18ХНВА, 12Х2Н4, 12ХН3 и т. п.)	Высокий отпуск и обработка холодом способствуют уменьшению остаточного аустенита

Продолжение табл. 85

Режим термической обработки	Случаи применения	Примечание
Быстрое неполное охлаждение в соли или в масле от температуры цементации до 250—550° С. Перенос в печь, нагретую до 550° С, и выдержка в течение 4—8 *ч* Охлаждение на воздухе	Для высоколегированной стали (типа 18ХНВА, 12Х2Н4 12ХН3 и т. п.)	Данный режим предложен В. Т. Чириковым с целью получения оптимальной структуры цементованного слоя и сердцевины
Отпуск при 630—680° С в течение 8—10 *ч* с охлаждением на воздухе или в печи Закалка Низкотемпературный отпуск		
Закалка с цементационного нагрева с подстуживанием до 740—840° С Отпуск при 160—180° С Обработка холодом Отпуск при 160—180° С	Для изделий из высоколегированной стали типа 18ХНВА, прошедших газовую цементацию	

2. Азотирование

Процесс азотирования заключается в насыщении поверхностного слоя стали или чугуна азотом.

Обезвоженный аммиак, поступая в нагретую до 480—560° печь, диссоциирует по реакции $2\,NH_3 = N_2 + 3H_2$, и выделившийся в атомарном состоянии азот диффундирует в металл, образуя нитриды.

Различают два вида азотирования — прочностное и антикоррозионное.

Прочностное азотирование применяют для повышения твердости, износостойкости и усталостной прочности изделий. Для азотирования применяют легированные стали и чугуны, содержащие Cr, Al, Ti, V, Mo. Наилучшие результаты дает азотирование сталей 38ХЮ, 38ХМЮА и 36ХВФЮА, приобретающих твердость поверхности до 1100 *HV*.

Значительно повышают износостойкость после азотирования аустенитные и хромистые нержавеющие стали.

Таблица 86

Режимы прочностного азотирования

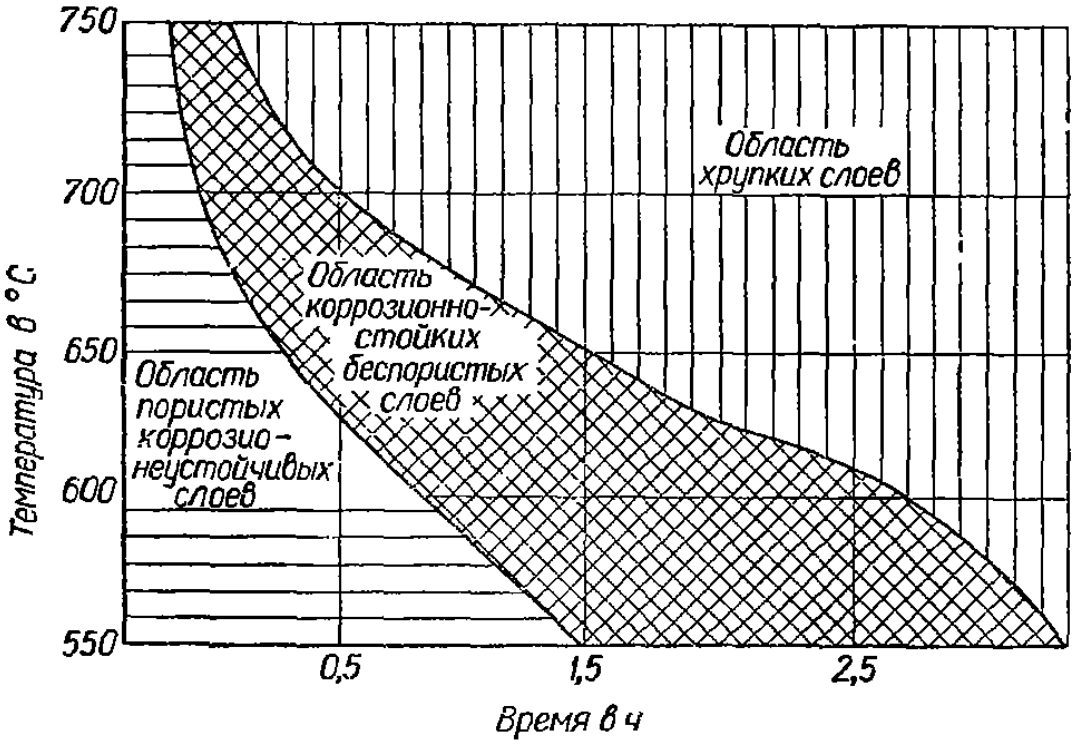
Режим азотирования	Вариант	I ступень			II ступень			III ступень			Глубина азотированного слоя в *мм*
		Температура в °С	Степень диссоциации в %	Время в *ч*	Температура в °С	Степень диссоциации в %	Время в *ч*	Температура в °С	Степень диссоциации в %	Время в *ч*	
Одноступенчатый	1	480—520	20—25	до 90	—	—	—	—	—	—	0,5—0,7
	2	540—560	30—50	36—65	—	—	—	—	—	—	0,5—0,6
Двухступенчатый	1	500—510	Меньше 25	18—20	550—570	35—55	20—24	—	—	—	0,5—0,7
	2	540—560	30	10	570	30	8	—	—	—	0,35—0,45
Трехступенчатый *	1	510—530	15—30	12	550—560	40—50	12	510—530	56—65	12	0,5—0,8

* Подъем и снижение температуры между ступенями в течение двух часов.

Азотируемые изделия рекомендуется предварительно улучшать (в материале или после черновой обработки). Это повысит прочность изделия и уменьшит хрупкость, возникающую при наличии свободиого феррита в поверхностном слое. С этой же целью не допускают к азотированию обезуглероженные изделия. Азотируют полностью изготовленные изделия.

В табл. 86 приведены применяемые режимы прочностного азотирования.

Трехступенчатый процесс заимствован из Московского станкостроительного завода им. С. Орджоникидзе, азотирующего шпиндели диаметром 150 *мм*, длиной 3332 *мм* [68].



Фиг. 27. Диаграмма оптимальиых режимов антикоррозионного азотирования.

Для предотвращения коробления и уменьшения деформаций («распухания» изделия) надо перед предварительным шлифованием подвергнуть сталь стабилизации — отпуску при 600—650° С с медленным нагревом и охлаждением и выдержкой 8—12 *ч*. Длинные изделия должны нагреваться и охлаждаться в подвешенном состоянии.

Увеличение объема (распухание) в процессе поглощения азота являются закономерным и при постоянных размерах изделия может быть учтено при механической обработке. По данным работы [60], гильзы диаметром 70 *мм* при толщине стенки 6,5 *мм* в процессе азотирования при 525° С в течение 72 *ч* увеличивались в диаметре примерно на 0,13 *мм*.

В случае коробления изделия правят под прессом в холодном или лучше нагретом до 450—480° С состоянии с последующим отпуском при 200—250°С.

Предохранение поверхностей изделия, не подлежащих азотированию. Места, не подлежащие азотированию, изолируют одним из следующих способов: 1) лужением; 2) никелированием; 3) нанесением обмазки, состоящей из трех частей порошка олова и одной части порошка окиси хрома. Хорошо растертую смесь разбавляют раствором хлористого цинка. После обмазки изделие следует просушить.

Контроль прочностиого азотироваиия. 1. Твердость проверяют приборами с алмазными наконечниками при малых нагрузках. 2. О хрупкости судят по искажению отпечатка от алмазного наконечника из-за скалывания краев отпечатка (приложение 5). 3. Глубину слоя определяют травлением 4-процентным раствором азотной кислоты сошлифованного торца образца, а также по излому и по микрошлифу.

Азотирование антикоррозионное. Антикоррозионному азотированию подвергают изделия из углеродистой и низколегированной сталей и чугуна. Перед азотированием изделия следует тщательно обезжирить (фиг. 27).

Азотирование изделий из высокоуглеродистых сталей, требующих высокой твердости, следует заканчивать закалкой при соответствующей для данной стали температуре.

Степень диссоциации следует поддерживать в пределах 35—70%. Контроль антикоррозионного азотирования осуществляют погружением или смачиванием детали 10-процентным водным раствором медного купороса в течение 1—2 *мин.* В местах пор, трещин и других дефектов происходит осаждение меди.

Для успешного ведения процесса необходимо следить за равномерностью нагрева во всех точках муфеля. Объем следует как можно полнее заполнять изделиями.

При забраковке партии изделий процесс следует повторить при уменьшенном вдвое времени.

Изделия малого диаметра и с резьбой, как правило, исправить не удается из-за приобретаемой при вторичном азотировании повышенной хрупкости.

3. Цианирование

Процесс цианирования заключается в одновременном насыщении поверхности стали углеродом и азотом. Цианирование производится в жидкой, газовой и твердой средах.

Различают два вида цианирования: а) высокотемпературное с целью повышения твердости, износостойкости и усталостной прочности деталей из конструкционных сталей; б) низкотемпературное с целью повышения твердости и красностойкости инструмента из быстрорежущей стали и пресс-форм для литья под давлением.

Следует практиковать газовое цианирование как процесс более экономичный и безопасный.

Высокотемпературное газовое цианирование (нитроцементацию) производят в смеси аммиака с углеродосодержащими газами, применяемыми при газовой цементации. Цианирующая смесь содержит 15—25% аммиака, 75—85% науглероживающего газа.

Применяют также углеродисто-азотистый карбюризатор — триэтаноламин, подаваемый в печи, в том числе и шахтные, при помощи топливного насоса от дизельного трактора.

Триэтаноламин $(C_2H_2OH)_3$ представляет собой бесцветную вязкую, негорючую жидкость с удельным весом 1,12.

Подавать триэтаноламин в печь лучше всего через тонкую трубку, обязательно охлаждаемую водой. Трубку необходимо часто прочищать.

При цианировании в муфельных печах следует применять беспористые муфеля, так как триэтаноламин не создает совершенно сажи и не зашлаковывает подобно керосину, бензолу и другим карбюризаторам поры в муфеле, а, наоборот, освобождает их от пор, и муфель теряет

герметичность. Лучше всего цианирование триэтаноламином вести в безмуфельных печах.

Рабочая температура газового цианирования 840—860° С. Для изделий простой формы можно повысить температуру до 900° С.

Примерная глубина цианированного слоя при температуре 860° С за 1 *ч* процесса равна 0,12—0,16 *мм*.

Закалку изделий, прошедших жидкое и газовое цианирование, следует производить непосредственно из печи по окончании цианирования. При высокой температуре цианирования подстуживают изделие на воздухе. После закалки изделия проходят отпуск при 160—200° С. Мелкие, неответственные изделия из малоуглеродистой стали отпуску не подвергают.

Изделия, подлежащие после цианирования механической обработке, охлаждают на воздухе, затем их отпускают при 630—650° С, а после обработки закаливают и отпускают.

Места, не подлежащие цианированию, омедняют, толщина слоя меди 0,018—0,025 *мм*; омедненный слой должен быть плотным.

Цеховой контроль цианированных изделий производят определением твердости напильником, алмазной пирамидой или алмазным конусом, в зависимости от глубины цианирования.

Исследования последнего времени указывают на снижение прочностных свойств при высокой концентрации аммиака в цианированном слое. Оптимальное количество вводимого аммиака лучше определять опытным путем.

Высокотемпературное жидкое цианирование. При подготовке ванны к работе сначала расплавляют нейтральные соли (кальцинированную соду и пр.), а затем добавляют цианистые соли. В ваннах с составом № 6, 7, 8 (табл. 87) при загрузке цианистых солей образуется обильная пена, избыток которой удаляют, оставляя тонкий слой, предохраняющий ванну от обеднения. Зеркало ванны для глубокого цианирования (составы № 4 и 5) с этой же целью посыпают графитом толщиной слоя 3—4 *мм*.

Таблица 87

Состав ванн высокотемпературного цианирования

№ состава	Состав ванны в %							
	Цианистый натрий	Цианплав ГИПХ	Кальцинированная сода	Хлористый натрий	Хлористый кальций	Хлористый барий	Хлористый калий	Желтая кровяная соль
1	25	—	15—20	55—60	—	—	—	—
2	40	—	30	30	—	—	—	—
3	45	—	35—40	15—20	—	—	—	—
4	50	—	—	15	—	35	—	—
5	6	—	—	14	—	80	—	—
6	—	9	—	26	65	—	—	—
7	—	9	—	37	54	—	—	—
8	—	—	—	35	—	—	35	30

Примечание. Цианплав ГИПХ состоит из 43—49% $Ca(CN)_2$; 2—3% $CaCN_2$; 30—35% NaCl; 14—16% CaO; 4—5% C.

Рабочая температура обычного жидкого цианирования 830—860° С, а глубокого — 900—950° С.

Освежение ванн с цианистым натрием производят путем добавления высокопроцентного цианистого натрия из расчета 0,5—1% через каждый час от веса соли в ванне, а ванн с цианистым ГИПХ — путем добавления 2—4% цианплава каждые 2 *ч* работы от веса соли в ванне.

Степень истощения ванны и необходимость освежения ее лучше всего проверять химическим анализом.

Охлаждение после жидкого цианирования в воде, 50-процентном водном растворе каустической соды в воде.

Низкотемпературное жидкое цианирование. Цианированию подвергают режущий инструмент из быстрорежущей стали и пресс-формы для литья под давлением, изготовляемые из стали 3Х2В8. Температура цианирования 540—560° С.

Инструменты размеров, меньших, чем указанные в табл. 90, не цианируют из-за повышенной хрупкости. Оптимальная глубина цианированного слоя режущего инструмента 0,02—0,035 *мм*, а пресс-форм 0,06—0,1 *мм*. Перед цианированием инструмент рекомендуется подогревать в отдельной печи или возле тигля. Длинный инструмент надо нагревать и охлаждать в подвешенном состоянии.

В табл. 88, 89 приведены данные о составах ванн и времени выдержки в ваннах.

Таблица 88

Глубина цианированного слоя быстрорежущей стали в зависимости от продолжительности выдержки при низкотемпературном цианировании

Продолжительность выдержки в *мин*	Глубина слоя в *мм*, полученная в ваннах с содержанием цианистого натрия в %		
	90	50	30
5	0,008	0,006	0,006
15	0,020	0,018	0,015
30	0,035	0,030	0,030
45	0,037	0,035	0,035
60	0,045	0,043	0,040
120	0,055	0,055	0,052
360	0,080	0,075	0,070

Таблица 89

Рекомендуемая продолжительность выдержки инструмента из быстрорежущих сталей при цианировании в жидкой среде, содержащей не менее 50% цианистого натрия

Инструмент	Диаметр или толщина в *мм*	Время выдержки при 560° С в *мин*
Сверла, развертки и зенкеры	6—10	8
	10—15	10

Продолжение табл. 89

Инструмент	Диаметр или толщина в *мм*	Время выдержки при 560° С в *мин*
Сверла, развертки и зенкеры	15—20	12
	20—30	15
	Свыше 30	16—23
Метчики	5—8	5
	8—12	8
	12—20	10
	20—30	12
	Свыше 30	14—18
Протяжки	5—10	8
	10—15	12
	15—20	14
	20—30	16
	Свыше 30	20—25
Резьбовые фрезы с нешлифованным зубом	25—35	12
	35—50	15
	Свыше 50	18
Резьбонарезные фрезы со шлифованным зубом	25—35	10
	35—50	12
	Свыше 50	15
Плашки тангенциальные	—	8—10
Червячные фрезы с нешлифованным зубом	50—60	30
	Свыше 60	40—50
Червячные и шлицевые фрезы со шлифованным зубом	50—60	16
	Свыше 60	20—26
Фрезы цилиндрические фасонные и торцовые со шлифованным зубом	До 30	10—12
	30—40	16
	40—60	20
	Свыше 60	25—30
Дисковые фрезы	5—10	12
	10—15	15
	Свыше 15	18—23
Фасонные и тангенциальные резцы	—	12—30
Резцы к зубострогальным станкам	—	10—12
Токарные и строгальные резцы	—	12—40
Долбяки	—	15

Примечание. Увеличение выдержки сверх рекомендуемой приводит к получению хрупкого цианированного слоя.

Таблица 90

Рекомендуемая продолжительность выдержки инструментов из быстрорежущих сталей при цианировании в газовой и твердой средах.

Инструмент	Диаметр или толщина в *мм*	Время выдержки при температуре 550—560°С в *ч*	
Сверла, зенкеры, развертки	До 15	1,0—1,5	2,0—2,5
	15—25	1,5—2,0	2,5—3,0
	25—50	2,0—3,0	3,0—4,0
Метчики	До 15	0,5—1,0	—
	15—25	1,0—1,5	—
	25—50	1,5—2,0	—
Резьбовые фрезы:			
со шлифованным зубом	25—50	1,0—1,5	1,5—2,0
	Свыше 50	1,5—2,0	2,0—3,0
с нешлифованным зубом	25—50	1,5—2,0	2,0—2,5
	Свыше 50	2,0—2,5	2,5—3,0
Резьбовые гребенки и плашки:			
с шагом резьбы до 2 *мм*	—	1,0—1,5	1,5—2,0
с шагом резьбы свыше 2 *мм*	—	1,5—2,0	2,0—3,0
Червячные и шлицевые фрезы:			
со шлифованным зубом	50—75	1,0—1,5	2,0—2,5
	Свыше 75	1,5—2,0	2,5—3,0
с нешлифованным зубом	50—75	1,5—2,0	2,5—3,0
	Свыше 75	2,0—2,5	3,0—4,0
Фрезы цилиндрические, фасонные и торцовые	До 50	1,0—1,5	2,0—2,5
	50—75	1,5—2,0	2,5—3,0
	Свыше 75	2,0—2,5	3,0—4,0
Дисковые резцы	До 10	1,0—1,5	2,0—3,0
	Свыше 10	1,5—2,0	3,0—4,0
Круглые резцы	До 5	1,0—1,5	2,0—2,5
	5—15	1,5—2,0	2,5—3,0
Тангенциальные резцы	10×10	1,5	3,0
	25×25	2,0	3,5

Примечания. 1. Время выдержки с момента прогрева инструмента.
2. Увеличение выдержки сверх рекомендованной приводит к получению хрупкого цианированного слоя.

Ниже приведен состав ванн для низкотемпературного цианирования.

Цианистый натрий	50—55	85—90	—	—
Желтая кровяная соль	—	—	80— 90	30—00
Кальцинированная сода	25—30	10—15	—	—
Едкий натрий или едкий калий . .	15—20	—	10— 20	60—70
Температура плавления в %	515	—	490—500	—

Низкотемпературное цианирование в газовой среде

Состав цианирующей газовой среды и соотношение между газами такие же, как и при высокотемпературном цианировании.

После окончания выдержки при 540—560°С инструмент охлаждают на воздухе или с печью до 200°С. В последнем случае он приобретает серебристый цвет.

Низкотемпературное цианирование в твердой среде. Смесь для цианирования состоит из тщательно перемешанных между собой 60—80% древесного угля (величина зерна примерно 3—6 *мм*) и 20—40% желтой кровяной соли, измельченной в порошок. Инструмент упаковывают в железные ящики так же, как при цементации.

Температура процесса 550—560°С. Охлаждение в ящиках, на воздухе до 100—200°С.

В табл. 90 приведены рекомендуемые выдержки.

4. Алитирование

Алитирование применяют для повышения жаростойкости стальных изделий, работающих при высоких температурах. Оно заключается в насыщении поверхностного слоя стали алюминием. Наибольшее применение находит способ твердого алитирования. При этом способе чистые, обезжиренные изделия упаковывают в стальные ящики с тщательно перемешанной порошкообразной массой, состоящей из 99,5% ферроалюминиевого сплава [43] и 0,5% хлористого аммония.

Упаковывают изделия так же, как и при твердой цементации. Места, не подлежащие алитированию, обвязывают асбестом или обмазывают огнеупорной глиной. Следует обратить внимание на тщательность обмазки ящика во избежание окисления алитирующей смеси. Для алитирования применяют примерно 80% обработанной смеси и 20% свежей. Температура алитирования 850—1000°С. Скорость образования алитированного слоя примерно 0,05—0,08 *мм/ч* в зависимости от температурного процесса.

Алитированный слой обладает повышенной хрупкостью, недопустимой для ряда ответственных изделий. Такие алитированные изделия подвергают отжигу при 900—1000°С в течение 3—6 *ч*, в результате чего происходит уменьшение содержания алюминия в поверхностном слое за счет проникновения его в глубь изделия. В тонких изделиях это может привести к сквозному алитированию и возникновению хрупкости по всему их сечению. Такие явления надо регулировать выбором температуры и продолжительностью режима отжига.

Алитирование также производят путем погружения изделий в расплавленный алюминий.

5. Сульфидирование

Сульфидирование применяют для повышения износостойкости деталей машин (особенно противозадирных свойств металла) путем насыщения их поверхности серой.

Среднетемпературное и низкотемпературное сульфидирование производят в основном в жидкой среде (табл. 91).

Таблица 91

Составы ванн и режимы процессов жидкого сульфидирования

Состав элементов в %							Температура процесса в °С	Время выдержки в *ч*	Для каких изделий предназначены
NaCNS	Na_2SO_3	Na_2SO_4	KCl	LiCl	K_2SO_4	KCNS			
Среднетемпературные ванны									
1,9	5,6	50,8	41,7	—	—	—	560—600	1	Для чугунных и незакаленных стальных изделий, не требующих большой точности
1,9	5,6	—	25,6	43,4	23,5	—	420—560	1	Для незакаленных стальных изделий, требующих большой точности, и для изделий из закаленных легированных сталей с температурой отпуска не выше 400°С
Низкотемпературные ванны									
—	75	—	—	—	—	25	220	3	Для изделий из закаленных сталей
—	25	—	—	—	—	75			

При составлении ванн жидкого сульфидирования сначала расплавляют нейтральные соли, а затем постепенно остальные составляющие ванны.

При твердом сульфидировании изделия упаковывают в стальные ящики со смесью следующего состава: 1) измельченное сернистое железо 30—40%; 2) графит 50—60%; 3) желтая кровяная соль 10%. Температура процесса примерно 560°С. Выдержка 1—3 *ч*.

После сульфидирования изделия промывают в горячей воде и нагревают в масляной ванне при 110—120°С с целью предохранения от коррозии. Твердость изделий в результате сульфидирования практически не меняется.

6. Очистка и травление изделия после термической обработки

Очистку изделий от солей, масла и грязи производят в горячем водном растворе с содержанием каустической соды до 3% или кальцинированной соды до 10%. Температура раствора 80—90°С. Время промывки от 5 *мин* и выше. Раствор меняют не реже чем через каждые 10 дней.

Очистку изделий от окалины производят в пескоструйных, дробеструйных аппаратах и в травильных ваннах. В настоящее время работы по очистке проводятся чугунным песком, не дающим пыли.

Применяют пескогидравлическую очистку, при которой изделие очищают смесью, состоящей из 50% песка и 50% воды. Эту смесь распыляют воздухом под высоким давлением, подводимым в трубе к месту выхода смеси воды и песка.

Для крупных изделий применяют также гидравлическую очистку, при которой изделие очищают струей воды под давлением до 150 *атм*.

Очистку изделий дробью производят дробеструйным и дробеметным способами. Дробеструйная очистка принципиально не отличается от пескоструйной ни по устройству применяемого оборудования, ни по технологии очистки.

Более экономичным и эффективным является способ дробеметной очистки, при которой дробь диаметром 0,5—2 *мм* по трубе подают на лопатки вращающегося рабочего колеса и оттуда под действием центробежной силы дробь с большой скоростью выбрасывается на изделие.

Дробеструйную обработку применяют также для повышения усталостной прочности деталей машин. Дробеструйный наклеп создает упрочненный поверхностный слой, в котором образуются напряжения сжатия, уменьшающие или уничтожающие напряжения растяжения.

Время обработки дробью от нескольких секунд до 2—3 *мин*, в зависимости от формы изделия и режима процесса.

Очистку травлением черных металлов производят в 5—18-процентном растворе серной кислоты или 7—20-процентном водном растворе соляной кислоты. Для того чтобы не перетравить изделия, к раствору добавляют органическую присадку КС в количестве 1 % или Ж в количестве 0,5% от объема травильного раствора. Срок действия присадки 100—150 *ч*.

Время травления 30—120 *мин* в зависимости от слоя окалины.

Температура травления в серной кислоте 40—90°С, а в соляной кислоте 30—60°С. С уменьшением концентрации кислоты температуру следует повышать. Наименьшая допускаемая концентрация кислоты в ванне 3—4%.

Изделия из нержавеющих сталей травят при температуре 40—50°С в ванне, состав которой следующий: 47% соляной кислоты, 5% азотной кислоты и 48% воды, после чего погружают на 3—5 *мин* в 5-процентный раствор азотной кислоты. Протравленные изделия промывают в теплой воде, затем в 0,5-процентном растворе каустической соды, сушат при температуре 120—150°С для удаления травильной хрупкости.

Рекомендуют также изделия из нержавеющей и жаропрочной сталей травить в 18-процентном водном растворе серной кислоты, 3—5-процентной поваренной соли при 80—90°С. Затем — промывка и нейтрализация в 3—4-процентном растворе кальцинированной соды.

При химическом травлении может иметь место перетравливание изделий, а поэтому изделия, имеющие чистовые размеры или малый припуск

на обработку, подвергают электрохимическому травлению в ванне следующего состава (в *Г/л*):

Серная кислота	50
Соляная кислота	10
Поваренная соль	25

Анодом являются свинцовые пластины, а катодом — изделия. Выделяющийся на катоде водород срывает окалину, размягченную кислотным раствором, и на освобожденный от окалины металл немедленно осаждается свинец, предохраняющий металл от растравливания. После окончания снятия окалины свинец снимается при обратном процессе (изделие — анод) в течение 5—10 *мин*, после чего следует промывка и сушка.

В табл. 92 приведены составы растворов для сиятия оксидной пленки и придания поверхности цветных металлов однородного цвета и чистоты. После травления следуют промывка, нейтрализация, вторая промывка и пассивирование.

Таблица 92

Составы растворов для травления поковок из цветных сплавов

Материал поковок	Состав раствора и концентрация	Температура раствора в °С	Назначение раствора	Время травления в *мин*
Алюминиевые сплавы	50—70 *г* NaOH или KOH на 1 *л* воды	40—50	Травление	2—3
То же	0,5 *л* HNO_3 (уд. вес 1,40) и 0,5 *л* воды	18	Осветление	5—15
Магниевые сплавы	90—100 *г* HNO_3 (уд. вес 1,40)	60—80	Травление	2—3
Бронза	0,5 *л* HNO_3 (уд. вес 1,40) и 0,5 *л* воды; 70 *г* $K_2C_2O_7$, 5 *г* NH_4 на 1 *л* воды	18	»	2—10
Латунь	0,2 *л* HNO_3 (уд. вес 1,40), 0,002 *л* HCl на 0,8 *л* воды и 2 части глянцевой сажи	18	Предварительное травление	До получения блестящей поверхности
»	0,075 *л* HNO_3, 0,1 *л* H_2SO_4, 0,001 *л* HCl, 0,825 *л* воды	18	Травление	То же

Сплавы титана травят в расплаве NaOH — 98% и NaH — 2% при 37°С. После травления следуют промывка в горячей воде, травление в 18-процентном водном растворе серной кислоты с добавлением 3% поваренной соли при 60—70°С в течение 2—3 *мин*, промывка и сушка.

7. Антикоррозионная обработка изделий после термической обработки

После термической обработки, связанной с применением солей, щелочей, воды и прочих веществ, могущих вызвать при длительном хранении изделий коррозию, следует произвести антикоррозионную обработку стальных изделий, заключающуюся в том, что очищенные, промытые и высушенные изделия погружают на 5 *мин* в 20—30-процентный водный раствор нитрита натрия, после чего заворачивают в пропитанную этим же раствором бумагу.

В таком виде изделия могут храниться длительное время.

Глава VI

ТЕХНОЛОГИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

1. Ориентировочные режимы термической обработки и механические свойства сталей разных марок

Термическую и химико-термическую обработку углеродистой конструкционной стали (ГОСТ 380-60) и автоматной стали (ГОСТ 1414-54) проводят по режимам, приведенным для конструкционной стали (ГОСТ 1050-60) с таким же содержанием углерода.

В настоящее время находит применение термическое упрочнение малоуглеродистой стали (табл. 93) [55].

Таблица 93

Механические свойства углового и круглого проката из кипящей стали Ст. 3 до и после термической обработки

Состояние металла	σ_T, $\sigma_в$		δ, ψ		Угол загиба в *град*	$a_к$ в *кГм/см²* при температуре в °С		
	в *кГ/мм²*		в %			+20	—20	—40
Угловая сталь								
Состояние поставки . . .	25,5	41,6	32,3	59,2	180	14,7	1,8	0,6
Закалка при 870°С (вода)	38,8	56,3	20,5	65,0	180	14,4	13,7	11,7
Круглая сталь								
Состояние поставки . . .	28	42,2	26,9	46,0	—	14,1	—	0,4
Закалка при 870°С (вода)	38,8	60,2	14,3	51,5	—	12,4	—	11,1

Термическое упрочнение спокойной стали по сравнению с кипящей даст увеличение прочностных свойств и некоторое снижение ударной вязкости. Отпуск не обязателен.

Качественная конструкционная углеродистая сталь (ГОСТ 1050-60). Отжиг рекомендуется производить на нижнем пределе температур, указанных в табл. 94, 95,а нормализацию — на верхнем пределе температур.

Таблица 94

Ориентировочный режим термической обработки и механические свойства качественной конструкционной углеродистой стали

Марка стали	Температура нагрева для аакалки, нормализации и полного отжига в °С	Охлаждающая среда	Температура отпуска в°С	Механические свойства			
				Твердость		Предел прочности в *кГ/мм²*	Удлинение в %
				HB	*HRC*		
Углеродистые стали с нормальным содержанием марганца							
Цементуемые стали							
08	900—960	Воздух	—	131	—	32	33
10	900—940	»	—	137	—	34	31
15	890—930	»	—	143	—	37	27
20	880—920	»	—	156	—	41	25
Улучшаемые стали							
25	860—900	Вода	200—300	—	33—27	—	—
30	850—890	»	200—300	—	35—30	—	—
			600	—	—	55	20
35	840—880	»	300—400	—	50—41	—	—
			400—500	—	41—31	—	—
			500—600	—	31—23	—	—
40	820—860	»	200—300	—	52—48	—	—
			300—400	—	48—41	—	—
			400—500	—	41—33	—	—
			500—600	—	33—22	—	—
45	810—840	»	200—300	—	54—50	—	—
50			300—400	—	50—41	—	—
			400—500	—	41—33	—	—
			500—600	—	33—24	—	—
			600—700	—	24—15	—	—
55	790—830	»	430—450	—	42—33	—	—
60	785—820	Вода,	400	321	—	—	—
		масло	550—620	241—207	—	—	—
65	785—815	То же	300—400	—	52—45	—	—
			400—500	—	45—37	—	—
			500—600	—	37—28	—	—
70	770—815	»	400	—	46—39	—	—
75			610—670	260—230	—	—	—
80	770—800	»	375—400	—	49—40	—	—
85			560—600	—	33—26	—	—
Углеродистые стали с повышенным содержанием марганца							
Цементуемые стали							
15Г	880—920	Воздух	—	163	—	40	24
20Г	860—900	»	—	197	—	43	22
25Г	850—890	»	—	197	—	43	22

Продолжение табл. 94

Марка стали	Температура нагрева для закалки, нормализации и полного отжига в °С	Охлаждающая среда	Температура отпуска в °С	Механические свойства			
				Твердость		Предел прочности в *кГ/мм²*	Удлинение в %
				HB	*HRC*		
Улучшаемые стали							
30Г	840—880	Вода	200—220	—	54—52	—	—
			400—500	—	38—33	—	—
			600	196	—	70	15
40Г	820—860	»	600	235	—	80	15
50Г	800—840	Вода,	200	—	50	—	—
		масло	550—600	295—246	—	85	8
60Г	790—820	То же	200—220	—	60—56	—	—
			380—420	—	46—40	—	—
			500—600	302—269	—	85	9
65Г	790—815	»	150—200	—	60—58	—	—
		»	200—300	—	58—54	—	—
			300—400	—	54—47	—	—
70Г	780—800	»	400—500	—	47—39	—	—
			500—600	—	39—30	—	—
			200—220	—	62—58	—	—
			400—450	—	46—40	—	—

Примечания. 1. Цементуемые стали подаергают закалке и отпуску после цементации по обычным режимам. 2. Механические свойства указаны для проката сеченнем до 60—80 *мм*.

Таблица 95

Ориентировочный режим термической обработки и твердость стали для лемехов плугов

Марка стали	Температура нагрева прн закалке, нормализации и полиом отжнге	Охлаждающая среда	Температура отпуска в °С	Твердость *HRC*
Л53	800—820	Вода	180—250	58—55
			250—300	55—52
			300—350	52—50
			350—400	50—44

Необходимо учесть, что среднеуглеродистые стали марок 45, 50 и т. д. склоины к образованию трещин при закалке в воде и их следует калить с переносом в масло.

Стали с повышенным содержанием марганца склонны к перегреву, и поэтому температура нагрева и время выдержки для ннх должны быть наименьшими.

После отпуска при температуре 400—600° С марганцовистую сталь во избежание развития отпускной хрупкости нужно охлаждать ускоренно.

Таблица 96

Режимы умягчающей обработки легированных конструкционных сталей

Марка стали	Операция	Температура нагрева в °С	Условия охлаждения*
30Х, 35Х, 40Х, 45Х, 50Х	Отжиг	800—860	40—50° С/*ч*
15ХФ, 20ХФ, 40ХФ, 50ХФ	»	840—860	50—60° С/*ч*
33ХС, 37ХС, 40ХС	»	860—880	40—60° С/*ч*
40ХГ, 35ХГ2	»	840—850	40—60° С/*ч*
20ХГС	Изотермический отжиг	880—900	Температура изотермической выдержки 660—680°С
25ХГС	То же	870—890	То же
30ХГС	»	860—880	»
35ХГС	»	850—870	»
27СГ, 35СГ	Отжиг	860—880	50—60° С/*ч*
25НА, 30НА	Нормализация,	840—860	Воздух
	отпуск	620—640	»
13Н2А, 13Н5А, 21Н5А	Отпуск	620—640	Выдержка 5 *ч*
25Н3, 30Н3А	»	650—670	То же
15ХМА	Отжиг	880—900	30—40° С/*ч*
20ХМ	»	860—880	30—40° С/*ч*
30ХМ	»	840—860	30—40° С/*ч*
35ХМ	»	830—850	30—40° С/*ч*
38ХЮ, 38ХМЮА	»	860—880	60—80° С/*ч*
35ХМФА	»	860—880	40—50° С/*ч*
20ХН	»	840—860	30—40° С/*ч*
40ХН, 45ХН	»	800—820	30—40° С/*ч*
50ХН	»	790—810	30—40° С/*ч*
12ХН2, 12ХН3,	Нормализация,	880—900	—
12Х2Н2	отпуск	600—640	—
20ХН3, 30ХН3, 37ХН3А	То же	640—650	Длительная выдержка
20ХН4ФА	Отжиг	850—860	30—40° С/*ч*
13ХНВА, 18ХНВА, 18ХНМА, 25ХНВА	Отпуск	650—680	Длительная выдержка
12ХН3МА, 12Х2Н4МА, 20ХНМ, 33ХН3МА, 40ХНМА	»	650—670	Выдержка 5—6 *ч*
45ХНМФА	Отжиг	850—870	40—50° С/*ч*
18ХГТ	Нормализация,	900—930	—
	отпуск		
15ХГНР	Нормализация	900	Воздух
20ХГНР	Отжиг	860—870	80—100° С/*ч*
14ХГ2НР	Нормализация	900	
	отпуск	650	Воздух
14ХГ2СР	Нормализация	900	»

Продолжение табл. 96

Марка стали	Операция	Температура нагрева в °С	Условия охлаждения*
15ХНГ2ВА, 15Х2Г2ВА	Нормализация	950	Воздух
	Отпуск	650	»
35Х2ГСВА	Нормализация	870—890	»
	Отпуск	650	»

* Охлаждение с указанной скоростью до 500°С, а затем на воздухе.

Таблица 97

Ориентировочные режимы термической обработки и примерные механические свойства легированных конструкционных сталей

Марка стали	Температура нагрева для закалки и нормализации в °С	Охлаждающая среда	Температура отпуска в°С	Механические свойства			
				Твердость		$\sigma_в$ в кГ/мм²	δ в %
				HB	*HRC*		
35Г2 . . .	810—850	Масло	200—300	—	56—48	—	—
			300—400	—	48—38	—	—
			400—500	—	38—34	—	—
			550—620	241—217	—	75—85	15—18
40Г2 .	810—840	»	550—600	300—230	—	—	—
45Г2 . .	800—840	»	300—400	—	49—43	—	—
			400—500	—	43—33	—	—
			500—600	325—262	—	—	—
50Г2 . . .	790—820	»	500—600	321—269	—	90	9
15Х	780—820	Вода или масло	200	>200	—	70	10—11
20Х	780—820	То же	200	>220	—	80	10
15ХР . . .	780—810	»	200		—	75	12
30Х, 30ХР .	840—870	Масло	540—580	207—229	—	75—80	14—18
35Х	840—865	»	180—200	—	45—50	—	—
			480—520	—	28—31	—	—
35ХР . . .	860	»	560	—	—	95	12
38ХА . . .	830—860	»	180—200	—	45—52	—	—
			500—560	285—375	—	130—100	—
			560—660	200—285	—	100—70	—
40Х	825—860	»	200—300	—	54—52	—	—
			300—400	—	52—45	—	—
			400—500	—	45—36	—	—
			500—600	—	36—30	—	—
			600—650	—	30—27	—	—
40ХР . . .	860	»	540	—	—	100	12

Продолжение табл. 97

Марка стали	Температура нагрева для закалки в нормализации в °С	Охлаждающая среда	Температура отпуска в °С	Механические свойства			
				Твердость		$\sigma_в$ в кГ/мм²	δ в %
				HB	*HRC*		
45Х	820—850	Масло	200—220	—	55—52	—	—
			500—580	280—302		100	8
			580—650	230—280		85	9
45ХЦ	840	»	520	—	—	105	9
50Х	815—845	»	500	>300	—	110	8
35Г2	810—850	»	200—300	—	56—48	—	—
			400—500	—	38—34	—	—
			550—620	241—217	—	75—85	15—18
40Г2	810—840	»	550—600	300—230	—	—	—
45Г2	800—840	»	300—400	—	49—43	—	—
			400—500	—	43—33	—	—
50Г2	790—820	»	500—600	321—269	—	90	9
20ХГ	800—820	»	180—220	220	—	90	12
18ХГТ	800—820	»	180—220	—	—	100	9
20ХГР	870	»	200	—	—	100	9
30ХГТ	850	»	200	—	—	150	9
40ХГ	860—880	»	200—250	—	53—45	—	—
			550—600	272—302	—	100	10
40ХГР	850	»	550—600	—	—	100	11
35ХГ2	820—860	»	220—250	—	53—45	—	—
			620—660	235—269	—	88	12
33ХС	900—930	»	250—270	—	⩾42	160	8
			620—640	⩾269	—	95	15
37ХС	900—930	»	250—280	—	55—52	—	—
			600—650	241—269	—	90—95	12
40ХС	900—920	»	240—260	—	55—52	175	7
			600—650	241—269	—	90	12
27СГ	910—940	Вода	230	—	42—50	150	8
			475	302—363	—	100	12
			550	—	—	80	12
35СГ	870—900	Вода	600—620	248—285	—	85	13
36Г2С	880	Воздух	—	—	—	75	12
15ХМ	880—900	Масло	550	>235	—	80	12
30ХМ	860—890	»	460	>320	—	110	—
			560	>270	—	95	11
			650	>260	—	90	—
35ХМ	860—870	»	200—220		53—45	140	10
			560	>270	—	95	11
			600—650	>260	—	90	16
38ХВА	850	»	550—620	—	—	100	12
15ХФ, 20ХФ	780—800	Вода	180—200	>220	—	80	12
40ХФА	840—880	Масло	450—500	—	42—35	—	—
			620—680	>255	—	90	10

Продолжение табл. 97

Марка стали	Температура нагрева для закалки и нормализации в °С	Охлаждающая среда	Температура отпуска в °С	Механические свойства			
				Твердость		$\sigma_в$ в кГ/мм²	δ в %
				HB	*HRC*		
20ХН . .	840—870	Масло	200	—	—	100	10
			500	—	—	80	14
40ХН . . .	800—840	»	180—200	—	45—50	150	8
			550—600	255—286	—	85—95	14—16
45ХН . . .	800—830	»	250	—	58—50	—	—
			530	—	—	100	10
50ХН . . .	790—820	»	500	—	—	110	8
12ХН2 . .	780—800	»	180—200	>220	—	80	12
12ХН3А . .	780—800	»	180—200	>260	—	95	10
20ХН3А . .	820—840	»	500	292	—	95	11
12Х2Н4А .	780—800	»	180—200	>300	—	110	10
20Х2Н4А .	860	»	180	—	—	130	9
30ХН3А .	810—840	»	530	⩾292	—	100	9
37ХН3А .	810—840	»	200—220	—	52—45	160	—
			525—575	321—387	—	110	10
45ХНМФА .	860—880	»	390—420	—	49—44	150	7
			550—600	—	39—35	110	9
			600—650	—	35—25	90	10
36ХН1МФА	850—860	»	590	⩾331	—	115	17
30ХНВА . .	860	»	530	—	—	100	10
38ХНВА . .	870	»	580	—	—	110	12
40ХНВА .	830—850	»	200—220	—	53—48	165	9
40ХНМА .		»	610	⩾302	—	110	12
30Х2НВА .	860		580	—	—	100—120	10—12
38ХН3ВФА	850	»	550—620	—	—	120	12
20ХН4ФА .	850	»	630	—	—	90	12
38ХН3МФА	850	»	550—620	—	—	120	12
15ХГНТ .	820—850	»	180	—	—	95	11
15Х2ГН2Т .	860	»	180	—	—	100	11
15Х2ГН2ТРА	770—810	»	170	—	—	105	12
18ХГН . .	860	»	180	—	—	100	12
25Х2ГНТА	840—860	»	180	—	—	150	10
30ХГНА . .	880	»	500	—	—	110	10
38ХГН . .	850	»	570	—	—	90	12
30Х2ГН2 .	870	»	200	—	—	150	10
18ХСНРА .	860	»	530	—	—	100	10
20ХГСА .	870—900	»	200	—	—	145	10
	—		500—520	228	—	80	10
25ХГСА . .	890—910	»	200	>400	—	150	5
	—		500	>310	—	110	6

Продолжение табл. 97

Марка стали	Температура нагрева для закалки и нормализации в °С	Охлаждающая среда	Температура отпуска в °С	Механические свойства			
				Твердость		$\sigma_в$ в кГ/мм²	δ в %
				HB	*HRC*		
30ХГСА	890—910	Масло	225—250	—	50—46	—	—
			480—520	337—390	—	120—140	—
			540—580	285—315	—	100—110	—
			600—640	235—265	—	80—90	—
			640—680	211—235	—	70—80	—
35ХГСА	860—880	»	200—250	—	53—46	—	—
			640—660	⩾235	—	76	16
30ХГСНА	890—910	»	200—300	—	50—46	160—180	—
38ХЮ	930	»	650	⩾260	—	95	10
38ХМЮА	930—950	»	600—670	⩾286	—	100	15
38ХВФЮ	930	»	640	—	—	100	10
13Н2ХА	860	»	180	—	—	60	15
15ХГНР	830—850	»	180—200	—	38—26	110	10
20ХГНР	810—830	»	180—200	—	44—33	130	10
14ХГ2НР	820—840	»	180—200	—	44—33	110	10
14ХГ2СР	830—850	»	180—200	—	44—33	110	10
15ХНГ2ВА	880—920	»	200	—	—	—	—
	810—830	»	180—200	—	47—35	115—120	12
15Х2Г2СВА	880—920	»	200	—	—	—	—
	830—850	»	180—200	—	47—35	115—120	12
35Х2ГСВА	880—890	»	200	555—477	—	>200	> 8
			460	477—401	—	>150	> 9
			600	341—286	—	>105	>12
			650	286—241	—	—	—

Примечание. Для цементуемых сталей механическне свойства приведены для сердцевины, твердость поверхиости этих сталей находится в пределах *HRC* 56—22.

Таблица 98

Ориентировочный режим термической обработки и твердость рессорно-пружинной стали

Марка стали	Температура нагрева при закалке и нормализации в °С	Охлаждающая среда	Температу отпуска в °С	Твердость *HRC*	Примечание
55	790—830	Вода	430—450	33—42	
65	785—815	Масло	300	52	
			400	45	
			500	37	
			600	28	
70	780—815	»	380	—	
75	780—815	»	380	39—46	
85	770—800	»	375—400	40—49	
65Г	790—815	»	380—430	42—47	
55ГС	790—820	»	390—420	39—46	
			580	25—31	
55С2	850—890	»	480—500	39—43	
60С2	840—870	»	400—510	43—50	
60С2А	840—870	»	400—425	40—49	Для проволоки диаметром до 13 *мм*
—	820—840	Вода	400—425	40—49	Для проволоки диаметром свыше 13 *мм*
63С2А	860	Масло	400—510	—	
70С3А	850	»	400—510	—	
50ХГ	840—870	»	450—480	41—43	
50ХГА	840—870	»	450—480	41—43	
60С2ХА	860	»	420	—	
60С2ХФА	840	»	450	—	
65С2ВА	840—860	»	420	50—54	Выдержка 1 *ч*, охлаждение на воздухе
60С2Н2А	840	»	—	—	
55СГ	880	»	400—510	—	
60СГА	860	»	400—510	—	
50ХФ	840—870	»	475	—	
50ХФА	840—860	»	390—410	46—50	Выдержка при отпуске 1 *ч*
50ХГФА	850—880	»	550	39—43	
58СН2А	875—900	»	400—425	46—49	

Конструкционная легированиая сталь. В практике ряда заводов весьма часто взамен отжига предпочитают высокий отпуск как операцию менее сложную, чем отжиг, и дающую хорошие результаты. При обработке поковки, если нет уверенности в правильности режима ковки, перед отпуском следует произвести нормализацию. Ориентировочные режимы термической обработки легированных сталей приведены в табл. 96 и 97. Охлаждение после отпуска закаленных изделий из легированных сталей, содержащих хром или марганец, во избежание отпускной хрупкости следует производить в масле или на воздухе.

Рессорно-пружинная сталь обычно не шлифуется, и поэтому при термической обработке следует применять меры предохранения против обезуглероживания. Особенно это относится к кремнистым сталям, которые обезуглероживаются значительно быстрее других сталей. При необходимости умягчения пружинной горячекатаной и термически обработанной стали следует применять высокий отпуск при температуре 660—700°С с наименьшей выдержкой. Ориентировочный режим термической обработки рессорно-пружинной стали представлен в табл. 98, 99.

Таблица 99

Пружинная сталь, не подвергаемая закалке

Наименование	Механические свойства
Проволока стальная пружинная термообработанная толщиной от 1,2 до 5,5 *мм* (ГОСТ 1071-41) . . .	$\sigma_в = 180 \div 130$ *кГ/мм²*
Проволока стальная углеродистая пружинная толщиной от 0,14 до 8 *мм* (ГОСТ 9389-60):	
класс I	$\sigma_в = 310 \div 150$ *кГ/мм²*
класс II	$\sigma_в = 270 \div 140$ *кГ/мм²*
класс III	$\sigma_в = 225 \div 110$ *кГ/мм³*
Лента стальная пружинная термообработанная толщиной от 0,08 до 1 *мм* (ГОСТ 2614-55):	
1П (первой прочности)	*HV* 485—375
2П (второй прочности)	*HV* 600—486
3П (третьей прочности)	*HV* свыше 600

Примечание. Пружины, изготовленные из приведенных марок проволоки, проходят после навивки отпуск при 250—320°С в течение 15—30 *мин* для снятия напряжений, образовавшихся при навивке, и для повышения упругих свойств проволоки.

Сталь для шарикоподшипников, кроме обычного отжига, отжигается также изотермически по режимам: нагрев до 800°С, выдержка до полного прогрева, охлаждение до 700—720°С, выдержка 3—4 *ч*, охлаждение с печью до 400—450°С, а затем на воздухе (табл. 100).

Если исправление структуры не требуется и целью отжига является только снижение твердости, то можно применять высокий отпуск при температуре 680—700°С в течение 3—4 *ч*.

Таблица 100

Ориентировочный режим термической обработки стали для шарикоподшипников

Марка стали	Отжиг		Закалка		Отпуск	
	Температура нагрева в °С	Твердость *HB*	Температура нагрева в °С	Твердость *HRC* не ниже	Температура нагрева в °С	Твердость *HRC*
ШХ6 . . .	780—800	170—207	800—825	62	150—170	60—62
					200—220	56—58
ШХ9 . . .	780—800	170—207	825—840	62	150—180	60—62
					200—260	60—55
					260—320	55—50
ШХ10 . . .	820—830	—	840—850	—	400	50—45
ШХ15 . . .	780—800	170—207	835—855	62	150—200	64—61
					200—300	61—56
					300—400	56—49
					400—500	49—41
					500—600	41—28
ШХ15СГ .	780—800	170—207	815—835	62	170—200	61—65

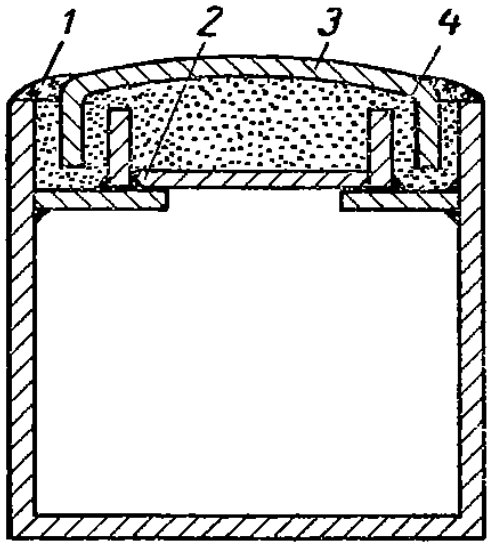
Примечания. 1. Охлаждающей средой для шарикоподшипниковых сталей служит масло, а для изделий простой формы, требующих высокой твердости, — — керосин. 2. Охлаждение при отжиге со скоростью 20—30° С/*ч* до 500—550°С.

При закалке массивных изделий из стали ШХ15 для получения твердости выше *HRC* 60 охлаждение производят в керосине до полного остывания. В этом случае все резкие переходы в острые выточки заделывают асбестом с глиной во избежание появления трещин.

Электротехнические стали и сплавы подвергают отжигу для повышения магнитных свойств.

Отжиг производят обычно в вакуумных печах или в ящиках с твердой защитной средой. Степень вакуума определяется ТУ на изделие (примерно 10^{-2} — 10^{-3} *рт. ст.*). Выдержку под вакуумом прекращают обычно при 80—100°С.

Упаковка ящиков показана на фиг. 28. При необходимости получения на изделиях небольшой окисной пленки отжиг производят в таких же пакетах, но без пересыпки защитной массой.



Фиг. 28. Ящик для безокислительного отжига:

1 — глина; *2* — крышка внутренняя; *3* — крышка наружная; *4* — песок.

Сплавы типа пермаллой отжигают в среде водорода или в вакууме (примерно 10^{-3} — 10^{-4} *рт. ст.* и выше).

Отожженные изделия не следует деформировать, бросать, стучать по ним, так как от этого ухудшаются их магнитные свойства.

В случае, если резка или штамповка пермаллоя затруднена из-за наклепа, его следует отжечь при 600—650°С (выдержка 1—2 *ч* и охлаждение со скоростью 100—200°С/*ч*).

Таблица 101

Режимы отжига электротехнических сталей и сплавов пермаллой

Марка стали или сплава	Назначение отжига	Температура нагрева в °С	Продолжительность выдержки в *ч*	Условия охлаждения	Необходимое оборудование и материалы
Сталь Э31, Э41, Э42, Э45, Э46, Э47, Э48 и др. (ГОСТ 802-58)	Повышение магнитиых свойств и нанесение окисной пленки	830—870	3	50°С/*ч*. Разгрузка изделий из ящика при 150°С	Печь. Ящик из жаропрочной стали
	Повышение магнитных свойств без нанесения окисной пленки (светлый отжиг)	860—900	3—4	То же	Печь. Ящик из жаропрочной стали. Защитная среда—белый асбестовый порошок
	Значительное повышение магнитных свойств за счет получения крупнозернистой структуры и очистки поверхности от вредных примесей (окисная пленка после отжига отсутствует)	1000—1050	10—20	60—70° С/*ч*	Печь. Установка для отжига в вакууме или водороде
Э310	Значительное повышение магнитных свойств (окисная пленка после отжига отсутствует)	780—820	3—4	Охлаждение с печью. Разгрузка при 100°С	Печь. Установка для отжига в вакууме или в водороде
Пермаллои—железоникелевые сплавы разных марок	Повышение магнитных свойств. Окисная пленка после отжига не допускается	1000—1100	8—15	Медленное охлаждение с печью до 200°С под вакуумом	То же
Э, ЭА, ЭАА (ГОСТ 3836-47) А (ЧМТУ 2900-56)	Улучшение магнитиых свойста	850—930	3—4	100—150°С/*ч* до комнатной температуры	Печь. Установка для отжига в вакууме или ящик из жаропрочной стали и защитная масса

Примечание. При отсутствии жаропрочной стали ящик изготовляется из обычной конструкционной стали. В случае отжига с нанесением окисной плеики изделия упаковываются в ящик без песка. Упаковку производят неплотно с таким расчетом, чтобы отжигаемый металл занимал 20—25% объема ящика.

Режимы отжига электротехнических сталей и сплавов пермаллой приведены в табл. 101.

Стальное литье. Мелкие и средние стальные отливки, в большом количестве отливаемые в настоящее время методом точного литья, как правило, подвергают однократному отжигу или нормализации при температуре $A_3 + 20 — 50°C$ для доэвтектоидных сталей и $A_1 + 20 — 30°C$ для эвтектоидных и заэвтектоидных сталей. Выдержку при отжиге и нормализации следует увеличить до полутора раз против выдержек, принятых для поковок и заготовок из проката.

В зависимости от требований чертежа отливки могут подвергаться улучшению (детали машин, испытывающие повышенную нагрузку) и закалке с низкотемпературным отпуском (инструмент и пр.) по обычным режимам.

Таблица 102

Рекомендуемый режим термической обработки литых постоянных магнитов

(ГОСТ 4402-48)

Марка сплава		Температура закалки или нормализации в °С	Охлаждающая среда	Температура отпуска в °С	Примечание
новая	старая				
АН1	АЛНИ1	1200	Кипящая вода	—	Для тонких магнитов нормализация
АН2	АЛНИ2	1200	То же	550	
АН3	АЛНИ3	1100	Воздух	—	
АНК	АЛНИСи	1200	»	—	Для толстых магнитов охлаждение замедленное
АНКо1	АЛНИКо12	1250	»	—	
АНКо2	АЛНИКо15	1300	»	—	
АНКо3	АЛНИКо18	1300	»	600*	Охлаждение от температуры 1300° С производят в магнитном поле напряженностью не менее 1500 *э*. Скорость охлаждения не более 5° С/*сек* до 500° С*
АНКо4	АЛНИКо24 (МАГНИКО)	1300	»	600	

* Регулирование скорости охлаждения в зависимости от объема и формы изделия достигается обвертыванием изделия перед охлаждением в асбестовую бумагу.

Стальные отливки после любых видов термической обработки обладают меньшей пластичностью, чем поковки и прокат.

Необходимо знать, что стальное литье может поступать в термическое отделение с обезуглероженным слоем и иногда довольно значительным. Обезуглероживание в литейном цехе происходит из-за наличия окалины в наполнительной земле опок. Небольшой обезуглероженный

слой можно восстановить за счет отжига в науглероживающей среде. При большом обезуглероженном слое отливки бракуют.

Магнитная сталь. На металлургических заводах после прокатки производят специальную умягчающую обработку, направленную на образование такой структуры, которая обеспечила бы после закалки наилучшие магнитные свойства. Исходя из этого на заводах-потребителях не следует производить дополнительный отжиг, так как он изменит структуру стали и приведет после закалки с нормальной температуры к ухудшению магнитных свойств, иначе говоря, приведет к «магнитной порче» стали. При загибке магнитов во избежание магнитной порчи стали нагрев должен производиться при температуре не выше: 700° С для стали ЕХ5К5 и Е7В6, 750° С для сталей ЕХ и ЕХ3 и 800° С для стали ЕХ9К15М. Режим термической обработки магнитов приведен в табл. 102 и 103.

Таблица 103

Режимы термической обработки магнитных сталей

Марка стали	Нормализация		Отпуск		Закалка			
	Температура нагрева в °С	Выдержка в *мин*	Температура нагрева в °С	Выдержка в *мин*	Температура подогрева в °С	Температура окончательного нагрева в °С	Выдержка в *мин*	Охлаждающая среда
ЕХ	1000	5	—	—	500—600	850	10—15	Масло
ЕХ3	1050	5	—	—	500—600	850	10—15	»
Е7В6	1200—1250	—	—	—	500—600	820—860	5	»
ЕХ5К5	1150—1200	—	—	—	500—650	950	10	»
ЕХ9К15М	1200—1240	5	700	30	—	1030—1050	10	»

Примечание. Старение магнитов для стабилизации структуры магнитных свойств производят в кипящей воде в течение 5—8 *ч*.

Таблица 104

Режимы термической обработки и свойства немагнитных сталей

Марка стали	Термическая и механическая обработка	Магнитная проницаемость *гс/э* в поле $H=$ 1000 *э*	Механические свойства			
			σ_T в *кГ/мм²*	$\sigma_в$ в *кГ/мм²*	δ в %	ψ в %
Н24Х2	Закалка с 600—800 °С в воде или нормализация	1,05—1,2	25—40	55—70	30—40	40—80
Н12ХГ	Нормализация . .	$\leqslant$1,3	30—65	70—90	15—30	30—40
Н55Г9Н9	Нормализация . . .	—	—	—	—	—
ЭИ269	Нормализация 1000 °С или закалка в воде, затем холодная прокатка или волочение . .	$\leqslant$1,1	$>$120	$>$150	3	—
ЭИ429	Нормализация и холодная прокатка или волочение . .	$\leqslant$1,3	до 150	до 170	5	—

Немагнитную сталь обрабатывают по режимам, приведенным в табл. 104.

Нержавеющую сталь при отжиге охлаждают вместе с печью до 250—300° С, а при отпуске с произвольной скоростью. Выдержки при нагреве должны быть небольшими во избежание роста зерна. Закалку в зависимости от марки стали производят с целью повышения прочности или с целью повышения пластичности и химической стойкости (табл. 105, 106).

Таблица 105

Рекомендуемые режимы отжига коррозионностойких и жаростойких сталей

Марка стали	Температура термической обработки в °С	Механические свойства	
		$\sigma_в$ в кГ/мм²	δ в %
0Х13, 1Х13	Отжиг 860—880 Отпуск 740—800	>40	>21
2Х13	Отжиг 860—880 Отпуск 740—800	>50	>20
3Х13	Отжиг 860—880 Отпуск 740—800	>50	>15
4Х13	Отжиг 860—880 Отпуск 740—800	>56	>15
Х17, 0Х17Т	Отпуск 740—780	>50	>18
Х25Т, Х28 (ЭИ439, ЭИ349)	Отпуск 740—780	>54	>17
Х15Н9Ю (ЭИ904)	Нормализация 1040—1080	>110	>20
Х5	Нормализация 850—870	>40	>24
4Х9С2 (СХ8)	Нормализация 850—870	>75	>15
Х6СЮ (ЭИ428)	Отпуск 750—800	>45	>20
1Х12СЮ (ЭИ404)	Нормализация 800—850	>50	>15
Х18СЮ (ЭИ484)	Нормализация 800—850	>50	>20

Следует указать, что закалка всегда повышает стойкость стали против коррозии. Хромистые нержавеющие стали обладают отпускной хрупкостью, и поэтому охлаждение после отпуска ведется в воде или в масле.

Сплавы для упругих чувствительных элементов подвергают закалке для достижения пластичности, а затем дисперсионному твердению для достижения высоких упругопрочностных свойств по режимам, приведенным ниже.

Шифр сплава	ЭИ702	ЭП52	ЭП51
Температура закалки в °С	900—950	1015	975
Дисперсионное твердение:			
температура в °С	670—690	700	700
время выдержки в *ч*	4—6	3—6	3—4
твердость *HRC*	—	46	41
$\sigma_в$ в кГ/мм²	122	140	140

Примечание. Приведенные механические свойства действительны после закалки, наклепа, дисперсионного твердения.

Таблица 106

Рекомендуемые режимы закалки коррозионностойких и жаростойких сталей

Марка стали	Закалка		Отпуск	Механические свойства		
	Температура нагрева в °С	Охлаждающая среда	Температура нагрева в °С	$\sigma_в$ в кГ/мм²	δ в %	Твердость HRC
0Х13	1000—1050	Масло	700—800	60	20	—
1Х13	1000—1050	Масло или воздух	700—790	60	20	—
2Х13	1000—1050	То же	660—770	66	16	—
3Х13	1000—1050	То же	200—300	—	—	51—50
			300—500	—	—	50—48
			500—550	—	—	48—45
			550—600	—	—	45—30
			600—700	—	—	30—21
4Х13	1000—1050	»	200—300	—	—	52—51
			300—500	—	—	51—50
			500—550	—	—	50—46
			550—600	—	—	46—31
9Х18	1000—1050	»	100—200	—	—	59—54
			200—500	—	—	54—52
			500—600	—	—	52—42
1Х17Н2 (ЭИ268)	970—1040	»	275—350	110	10	—
4Х10С2М (ЭИ107)	1010—1050	»	720—780	95	10	—
2Х13Н4Г9 (ЭИ100)	1070—1130	Воздух	—	65	35	—
Х15Н9Ю (ЭИ904)	925—975	Воздух, затем —50—70	375—500	120	10	—
Х17Н7Ю (ЭИ973)	1030—1070	Воздух	1/740—760 2/550—600	85	10	—
0Х20Н14С2 (ЭИ732)	1000—1150	Воздух или вода	—	55	40	—
Х20Н14С2 (ЭИ211)	1000—1150	То же	—	60	35	—
0Х21Н5Т (ЭП53)	950—1050	Воздух	—	60	20	—
1Х21Н5Т (ЭИ811)	950—1050	»	—	60	20	—
0Х21Н6М2Т (ЭП54)	950—1050	»	—	65	20	—
Х23Н13 (ЭИ319)	1100—1150	Масло, воздух, вода	—	50	35	—
Х14Г14Н3Т (ЭИ711)	1000—1080	То же	—	65	35	—
Х17Г9АН4 (ЭИ878)	1050—1100	»	—	70	40	—
Х17Н13М2Т (ЭИ448)	1050—1100	»	—	52	40	—
0Х17Н16М3Т	1050—1100	»	—	50	35	—
(ЭИ590)	1050—1100	»	—	45	40	—
00Х18Н10 (ЭИ842)	1050—1100	»	—	45	40	—
0Х18Н10	1050—1100	»	—	48	40	—
Х18Н9	1050—1100	»	—	50	45	—
2Х18Н9	1050—1100	»	—	58	40	—

Продолжение табл. 106

Марка стали	Закалка		Отпуск	Механические свойства		
	Температура нагрева в °С	Охлаждающая среда	Температура нагрева в °С	$\sigma_в$ в кГ/мм²	δ в %	Твердость HRC
Х18Н9Т	1050—1100	Масло, воздух, вода	—	55	40	—
0Х18Н10Т (ЭИ914)	1050—1100	»	—	50	40	—
Х18Н10Т	1050—1100	»	—	52	40	—
Х18Н12Т	1050—1100	»	—	55	40	—
0Х18Н12Б(ЭИ402)	1050—1100	»	—	50	40	—
4Х18Н25С2 . . .	1100—1150	»	—	65	25	—
Х23Н18 (ЭИ417)	1100—1150	»	—	50	35	—
0Х23Н28М2Т (ЭИ628) . . .	1100—1150	»	По согласованию	—	—	—
0Х23Н28М3Д3Т (ЭИ943) . . .	1100—1150	»	То же	—	—	—
Х25Н16Г7АР (ЭИ835)	1100—1150	»		70	40	—
Х25Н20С2 (ЭИ283)	1100—1150	»	—	60	35	—
1Х25Н25ТР (ЭИ813)	1100—1150	—	—	50	35	—
Х28АН* (ЭИ657)	850—950	Вода или воздух	—	54	17	—
Х14Г14Н*	1050—1070	Вода	—	70	35	—
Х17Н13М3Т* (ЭИ432) . . .	1050—1080	Вода или воздух	—	54	35	—
Х17АГ14* (ЭИ213)	1050—1070	Вода	—	70	35	—
0Х18Н11* (ЭИ684)	1050—1080	Вода или воздух	—	52	35	—

* Данные только для тонколистовой стали, для остальных марок стали режимы обработки и механические свойства приведены для образцов, изготовленных из термически обработанных заготовок сортовой стали.

Сплавы типа инвар и супер-инвар термически обрабатывают по следующим режимам:

1. Отжиг при 750—850° С при выдержке в течение 15—20 *мин* после горячей и холодной деформации.

2. Закалка в воде от 830° С после выдержки 30 *мин*, затем отпуск при 315° С — 1 *ч* и старение при 95° С — 48 *ч* для снижения коэффициента расширения и стабилизации размеров изделий.

3. Томление (этюваж) при 150—170° С и медленное охлаждение в течение 50—60 дней до комнатной температуры.

Эта обработка более чем в два раза уменьшает изменение размеров изделий во времени.

Сплавы типа Ковар-Н29К термически обрабатывают по следующим режимам:

1. Отжиг в водороде или вакууме при 900° С, выдержка 30 *мин* и охлаждение с печью для облегчения штамповки, вытяжки, гибки и т. п.

2. Отжиг в водороде или вакууме при 1000—1150° С, выдержка 20 *мин*, охлаждение с печью (для готовых изделий перед спайкой со стеклом).

Износоустойчивую марганцовистую сталь Г13 для улучшения литой структуры подвергают длительному отпуску при 550—600° С.

Высокую износоустойчивость сталь Г13 приобретает после закалки при температуре 1050—1150° С в воде. Выдержка при нагреве 0,5—3 *ч* в зависимости от величины изделий.

Примерные механические свойства после закалки: $\sigma_в = 70 \div 100$ *кГ/мм²*, $\delta = 25 \div 45\%$, $a_к = 20 \div 25$ *кГм/см²*, *НВ* 197 ÷ 212.

Сталь склонна к обезуглероживанию. В связи с весьма низкой теплопроводностью во избежание появления трещин нагревать ее до 600° С следует медленно.

Углеродистая инструментальная сталь. Охлаждение от температуры отжига производят со скоростью 20—50° С/*ч* до 550° С, а затем на воздухе.

Наилучшую обрабатываемость и наименьшую твердость стали приобретают после отжига на зернистый перлит.

Отжиг на зернистый перлит (сфероидизация) производят путем нагрева и выдержки при 730—750° С, охладжение до 500—550° С со скоростью 20—30° С/*ч*, а затем на воздухе.

Для уменьшения твердости и снятия напряжений инструментальную углеродистую сталь подвергают высокому отпуску при 680—700° С при длительной выдержке с дальнейшим охлаждением на воздухе.

Охлаждение при закалке инструментов производят в основном через воду в масло.

Инструменты диаметром или толщиной менее 8 *мм* закаливают в масле или керосине (табл. 107).

Легированная инструментальная сталь. Охлаждение от температуры отжига производят со скоростью 15—40° С/*ч* до 550° С, а затем на воздухе. При изотермическом отжиге сталь можно охлаждать от температуры изотермической выдержки на воздухе. В случаях, когда необходимо только уменьшить твердость и снять внутреннее напряжение, производят высокий отпуск при температуре 650—680° С.

Вследствие невысокой теплопроводности инструмент сложной формы следует нагревать медленно.

Сталь с повышенным содержанием кремния весьма склонна к обезуглероживанию, и поэтому инструмент из стали 9ХС и других кремнистых сталей, не подвергающийся шлифовке, следует особенно тщательно предохранять от выгорания углерода.

Охлаждение после отпуска вести с печью не рекомендуется (табл. 108, 109).

Быстрорежущая сталь. Кроме отжига, указанного в табл. 109 и 110 , для уменьшения твердости сталь подвергают также высокому отпуску при 720—750° С с охлаждением на воздухе или в масле.

Быстрорежущая сталь имеет низкую теплопроводность и поэтому инструмент при закалке следует предварительно подогревать до 800—850° С.

Нагрев без подогрева может быть допущен только для изделий простой формы и необольших размеров (см. табл. 112).

Подогрев может быть осуществлен в отдельных печах или же двух-, трехкратным погружением на 2—4 *сек* в ту же ванну, в которой производится окончательный нагрев.

Таблица 107

Ориентировочный режим термической обработки и твердость углеродистой инструментальной стали

Марка стали	Отжиг	Закалка			Отпуск	
	Температура нагрева в °С	Температура нагрева в °С	Охлаждающая среда	Твердость *HRC*	Температура нагрева в °С	Твердость *HRC*
У7, У7А . .	740—760	800—830	Через воду в масло	61—63	160—200	63—60
					200—300	60—54
					300—400	54—43
					400—500	43—35
					500—600	35—27
У8, У8А . .	740—760	790—820	То же	62—64	160—200	64—60
У8Г					200—300	60—55
У8ГА . . .					300—400	55—45
					400—500	45—35
					500—600	35—27
У9, У9А . .	740—760	780—810	»	62—65	160—200	64—62
					200—300	62—56
					300—400	56—46
					400—500	46—37
					500—600	37—28
У10, У10А	750—770	770—800	»	62—65	160—200	64—62
					200—300	62—56
					300—400	56—47
					400—500	47—38
У11, У12,	750—770	760—790	»	62—66	160—200	65—62
У11А, У12А					200—300	62—57
					300—400	57—49
					400—500	49—38
У13, У13А	750—770	760—790	»	62—66	160—200	65—62

Примечание. Твердость после отжига приведена в табл. 55

Закалка осуществляется в масле, в расплавленной соли и на воздухе.

Охлаждение на воздухе дает пониженную стойкость и рекомендуется только для тонкого длинного инструмента в целях уменьшения деформации. Закалку в расплавленную соль производят при температуре 250—500° С с последующим охлаждением на воздухе.

Термическая обработка (отпуск) инструмента быстрорежущей стали в атмосфере пара, рекомендованная в последнее время, заключается в следующем: 1) полностью изготовленный (включая заточку) инструмент загружают в герметически закрываемую печь, нагревают до 350—370° С , после чего в печь пускают пар и инструмент выдерживают при этой температуре 30 *мин*; 2) при непрерывном поступлении пара инструмент нагревают до 540—580° С и выдерживают при этой температуре 20—30 *мин*. Охлаждение на воздухе до 50—70° С, а затем в масле, подогретом до 40—50° С.

Таблица 108

Ориентировочные режимы термической обработки и твердость легированной инструментальной стали

Марка стали	Отжиг	Закалка			Отпуск	
	Температура нагрева в °С	Температура нагрева в °С	Охлаждающая среда	Твердость *HRC*	Температура нагрева в °С	Твердость *HRC*
7Х3, 8Х3	800—820	820—860	Масло	61—63	150—200	62—60
					200—300	60—58
					300—400	58—55
					400—500	55—50
					500—600	50—39
9Х	780—800	820—850	»	64—62	150—250	—
Х	780—800	835—855	Масло	65—62	150—200	64—61
					200—300	61—55
					300—400	55—49
					400—500	49—41
					500—550	41—35
Х09	780—800	825—850	»	65—62	150—170	62—60
					170—250	60—55
					250—320	55—50
Х05	780—800	780—800	Вода	65—62	200—300	62—55
		800—825	Масло	65—63	300—400	55—50
					400—500	50—41
Х06*	750—770	810—830	Вода	64—66	140—160	64—63
		820—850	Масло		160—180	63—62
					180—200	62—60
					200—250	60—58
ХВ*	750—770	810—830	Вода	64—66	140—160	64—63
		820—850	Масло		160—180	63—62
					180—200	62—60
					200—250	60—58
ХГСВФ*	790—810	850—880	Масло	61—65	150—200	64—63
					200—300	63—59
					300—400	59—54
					400—500	54—47
					500—600	47—39
Х6ВФ*	830—850	950—1010	Масло	64—62	150—170	63—62
					190—210	60—58
Х12	850—870	950—1000	Масло или струя воздуха	64—62	200—400	62—58
					400—500	58—56
					500—600	56—50
					600—700	50—43
Ф	760—780	780—820	Вода	64—62	180—200	64—60
		820—840	Масло	62—60		
В1	780—800	780—800	Вода	63—61	150—200	60—58
		810—830	Масло	62—60	200—300	58—52
					300—350	52—48

Продолжение табл. 108

Марка стали	Отжиг	Закалка			Отпуск	
	Температура нагрева в °С	Температура нагрева в °С	Охлаждающая среда	Твердость *HRC*	Температура нагрева в °С	Твердость *HRC*
ХГ	780—800	800—840	Масло	66—62	150—200	64—61
					200—300	61—58
					300—400	58—52
					400—500	52—44
					500—600	44—35
4ХС	820—840	880—900	»	56—53	200—250	52
					250—350	52—50
					350—450	50—46
					450—550	46—38
					550—650	38—31
6ХС	820—840	840—860	»	Не менее 62	150—200	62—60
					200—300	60—55
					300—400	55—52
					400—500	52—42
					500—600	42—36
9ХС	790—810	850—880	»	65—61	150—200	64—63
					200—300	63—59
					300—400	59—54
					400—500	54—47
					500—600	47—39
ХГС	780—810	820—840	Масло	Не менее 62	—	—
8ХФ	800—820	800—850	Вода	Не менее 64	200—220	64—62
85ХФ	770—780	840—860	Масло	62—63	200—400	60—50
65Х	—	820—840	»	61—63	300—325	51—56
4ХВ2С	800—820	860—900	»	56—53	200—300	53—51
					300—400	51—49
					400—500	49—42
					500—600	42—33
5ХВ2С	800—820	860—900	»	56—54	150—200	54—52
					200—300	52—48
					300—400	48—42
					400—450	42—36
6ХВ2С	780—800	860—900	»	60—54	200—300	58—53
					300—400	53—49
					400—500	49—43
					500—600	43—45
5ХВГ	760—780	830—860	»	58—56	200—300	55—52
					300—400	52—47
					400—500	47—43
					500—600	43—35
9ХВГ	780—800	800—830	»	64—62	170—230	62—60
					230—275	60—56

Продолжение табл. 108

Марка стали	Отжиг	Закалка			Отпуск	
	Температура нагрева в °С	Температура нагрена °С	Охлаждающая среда	Твердость *HRC*	Температура нагрева в °С	Твердость *HRC*
ХВГ	780—800	820—850	Масло	65—63	150—200	63—62
					200—300	62—58
					300—400	58—52
					400—500	52—46
					500—600	46—37
3Х2В8	860—880	1075—1125	Масло или струя воздуха	52—49	150—200	52—49
					200—300	49—48
					300—400	48—46
					400—500	46—45
					500—575	45—48
					575—700	48—40
4Х8В2	820—840	1025—1075	То же	54—51	500—600	48—40
ХВ5	780—800	800—820	Вода	67—64	200—300	64—60
		820—860	Масло		300—400	60—53
					400—500	53—48
					500—600	48—40
Х12М	850—870	1000—1050	Масло или воздух	65—62	150—200	63—62
					200—300	62—59
					300—400	59—57
					400—500	57—55
					500—600	55—47
		1115—1130	То же	48—45	500—520	59—62
					3—5-кратный	
5ХНМ	790—820	820—860	Масло	60—58	150—200	60—58
					200—300	58—53
					300—400	53—48
					400—500	48—43
					500—600	43—35
5ХГМ	790—810	820—850	»	58—53	200—300	57—52
					300—400	52—46
					400—500	46—40
					500—600	40—34
5ХГСВФ, 5ХГСВФЮ	Нормализация 900—920 Отпуск 660	850—860	»	—	565—575	44—39
					580—590	41—37
					590—610	39—35
					610—625	37—33
5ХНТ	790—820	830—860 с подстуживанием до 720—760	»	58—53	400—500	47—40
					500—600	40—33
Х12Ф1	850—870	1040—1080	Масло или воздух	64—62	100—200	63—59
					200—400	59—57
		1115—1150	То же		520—550	52—61
					3—5-кратный	

Продолжение табл. 108

Марка стали	Отжиг	Закалка			Отпуск	
	Температура нагрева в °С	Температура нагрева в °С	Охлаждающая среда	Твердость *HRC*	Температура нагрева в °С	Твердость *HRC*
5ХНС	800—820	850—870	Масло	59—55	400—500	46—40
					500—600	40—34
5ХНСВ	810—830	850—870	»	59—55	500—600	41—35
5ХНВ	790—820	840—860	»	59—55	400—500	47—41
					500—600	41—34
65Х\Ф*	—	820—840	»	61	—	—
		800—820	Вода		—	—
9Х5ВФ*	—	950—1000	Масло	61	—	—
8Х4В4Ф (Р4)*	—	1150	»	61	—	—
4Х2В5ФМ*	—	1060—1080	»	50	—	—
4Х5В2ФС*	—	1030—1050	»	55	—	—

Примечания. 1. Кубики из сталей 5ХНМ, 5ХГМ, 5ХНС, 5ХНСВ и 5ХНВ размером до 500 *мм* подвергают нормализации и отпуску, а размером свыше 500 *мм* и кубики из стали 5ХНТ всех размеров — отжигу. 2. Стали, отмеченные звездочками, взяты из проекта нового стандарта.

Таблица 109

Режим изотермического отжига инструментальной стали

Марка стали	Первый нагрев		Изотермическая выдержка		Твердость *НВ*
	Температура в °С	Выдержка в *ч*	Температура в °С	Выдержка в *ч*	
У7, У7А	790—810	1—2	650—680	1—2	⩽187
У8, У8А	740—760	1—2	650—680	1—2	⩽187
У9, У9А	750—770	1—2	660—690	1—2	⩽192
У10, У10А	750—770	1—2	680—700	1—2	⩽197
У11, У11А	750—770	1—2	680—700	1—2	⩽207
У12, У12А	750—770	1—2	680—700	1—2	⩽207
У13, У13А	750—770	1—2	680—700	1—2	⩽217
Х06	750—770	1—2	680—700	3—4	⩽207
ХВ	750—770	1—2	680—700	3—4	⩽207
Х05	750—770	1—2	680—700	3—4	187—241
Х, ШХ15	770—790	1—2	680—700	3—4	181—229
9ХС	790—810	1—2	700—720	3—4	197—241
ХГСВФ	790—810	1—2	700—720	3—4	197—241
ХВГ	770—790	1—2	680—700	3—4	207—255
Х12Ф1	850—870	1—2	720—750	3—4	207—255
Х12М	850—870	1—2	720—750	3—4	207—255
Р9, Р18	830—850	1—2	730—750	4—6	207—255
Р9Ф5, Р10К5Ф5, Р9К10, Р14Ф4, Р18Ф2, Р18К5Ф2	840—860	1—2	740—760	6—8	⩽293
Р18К5, Р18К10	850—870	1—2	730—750	4—6	217—269

Таблица 110

Ориентировочные режимы термической обработки быстрорежущей стали

Марка стали	Отжиг	Закалка		Отпуск	
	Температура нагрева в °С	Температура нагрева в °С	Твердость *HRC*	Температура нагрева в °С	Твердость *HRC*
Р9	830—860	1230—1250 / 1210—1240	61—63	540—580	⩾62
Р9Ф5	840—860	1240—1260 / 1220—1250	62—64	575—585	64—66
Р10К5Ф5	840—860	1230—1250 / 1210—1240	62—64	575—585	65—67
Р9К10	840—860	1230—1250 / 1210—1240	62—64	575—585	65—66
Р14Ф4	840—860	1250—1270 / 1230—1260	62—64	575—585	65—66
Р18	830—860	1280—1300 / 1260—1290	62—64	540—580	⩾62
Р18К5Ф2, Р18Ф2	840—860	1280—1300 / 1260—1290	63—65	575—585	64—66
Р18К5 Р18К10	см. табл. 109	1280—1320	60—64	550—570	62—65

Примечания. 1. Охлаждение при отжиге со скоростью 20—25 °С/*ч*. 2. Температура закалки в числителе для резцов, в знаменателе — для фасонного инструмента: нижний предел температуры для тонкого инструмента, а верхний — для крупного. 3. Отпуск для инструмента из сталей Р9Ф5, Р1К5Ф5 и Р14Ф4 — 2—4-кратный, а для остальных сталей 2—3-кратный с выдержкой по 1 *ч*. 4. Охлаждающая среда — масло, расплавленная соль при 250—550 °С, воздух. Для особо сложных инструментов, склонных к трещинообразованию — масло при 200°С с последующим остыванием с маслом.

При этой обработке на инструменте образуется окисная пленка Fe_3O_4 темно-синего цвета толщиной 1—4 *мк*, которая придает инструменту значительную коррозионную стойкость, а также несколько улучшает [31] эксплуатационные качества режущего инструмента.

Для обеспечения хорошего качества обработка должна производиться перегретым паром, для чего пар пускают не сразу в муфель, а перегревают в трубке, находящейся в печи.

2. Практические указания по термической обработке инструмента

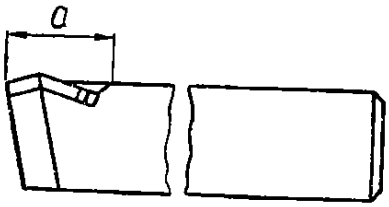
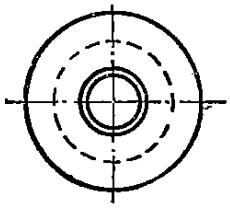
Рекомендуемые марки стали, температуры отпуска и твердости инструмента приведены в табл. 111.

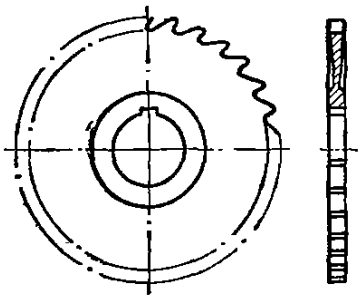
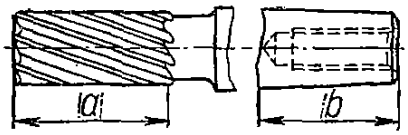
В приведенной таблице температура закалки и охлаждающие среды не указаны. Эти данные имеются в табл. 107, 108 и 110.

Твердость инструмента указана согласно госту и ведомственным нормалям, а для деталей машин — согласно специализированным справочникам.

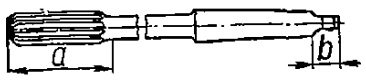
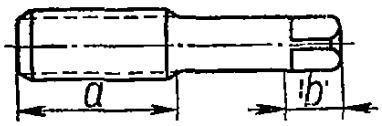
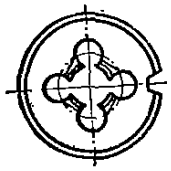
Таблица 111

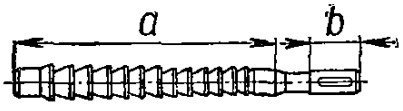
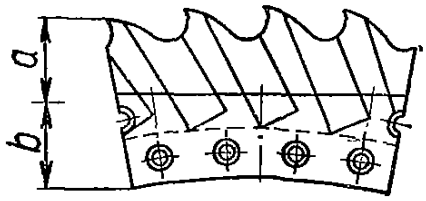
Стали, рекомендуемые для изготовления инструментов, ориентировочная температура отпуска и твердость инструментов

Инструмент	Рекомендуемая марка стали	Температура отпуска рабочей части инструмента в °С	Твердость *HRC* на длине
Режущий инструмент			
 Резец с пластинкой	Быстрорежущая сталь	540—580	*a* — 61—65
 Резец круглый	Быстрорежущая сталь ХГСВФ, Х06, У11А, У12А, ХВГ, ХВ 9ХС	540—580 150—180 180—200	62—65 61—64
 Фреза пазовая	Быстрорежущая сталь 9ХВГ, Х, У10А У11А, Х06, ХВ 9ХС	540—580 150—180 180—200	62—65 61—64

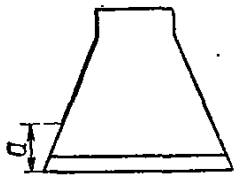
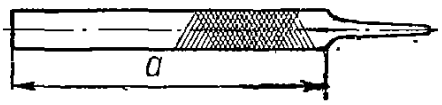
Инструмент	Рекомендуемая марка стали	Температура отпуска рабочей части инструмента в °С	Твердость *HRC* на длине
 Фреза отрезная	Быстрорежущая сталь У12А, Х12М, ХГСВФ, 9ХС	540—580 180—240 200—250	60—63 до 1 *мм* 61—64 св. 1 *мм* 58—62 до 1 *мм* 60—64 св. 1 *мм*
 Фреза концевая	Быстрорежущая сталь У10А, У11А, Х, ХГ, Х06, ХВ, 9ХС	540—580 150—180 180—200	*a* — 62—65 61—64 61—64 *b* — 30—45
 Сверло спиральное	Быстрорежущая сталь У10А, У11А, У12А ХГСВФ, ХВГ, ШХ12, Х, 9ХС	540—580 150—220 180—240	*a* — 60—64 до 5 *мм* 62—65 св. 5 *мм* 59—63 до 10 *мм* 61—64 св. 10 *мм* *b* — 30—45

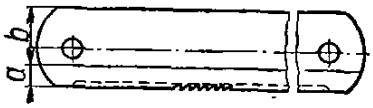
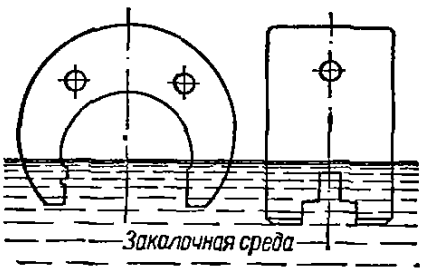
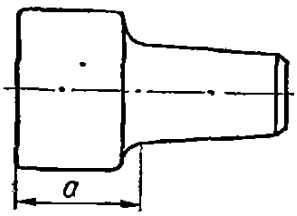
Продолжение табл. 111

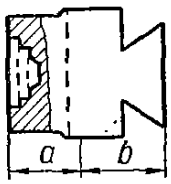
Инструмент	Рекомендуемая марка стали	Температура отпуска рабочей частн инструмеи-та в °С	Твердость *HRC* на длине
 Зенкер  Развертка	Быстрорежущая сталь У10А, У11А, У12А, Х, ХВГ, ХГСВФ, 9ХС	540—580 150—220 180—240	*a* — 61—63 до 6 *мм* 62—65 св. 6 *мм* 59—63 до 8 *мм* 61—64 св. 8 *мм* *b* — 30—45
 Метчик	Быстрорежущая сталь У10А — У12А, Ф, Х, ХГ, ХВГ, 9ХВГ, ШХ12, Х06, ХВ, 9ХС	540—580 160—220 200—270	*a* — 61—63 до 6 *мм* 62—65 св. 6 *мм* 59—62 *b*—35—55 от 4 до 8 *мм* 30—45 св. 8 *мм*
 Плашка круглая (лерка)	У10А — У12А, Х, ХГСВФ, ХГ, 9ХВГ, Ф, ХВ, 9ХС	180—220 220—280	58—62

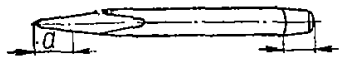
Инструмент	Рекомендуемая марка стали	Температура отпуска рабочей части инструмента в °С	Твердость *HRC* на длине
 Плашка для накатки резьбы	Х12М, Х12 Х12Ф1, Х6ВФ	250—300 200—240 150—200	58—61
 Протяжка	Быстрорежущая сталь Х12М, Х12Ф1, ХВГ, Х, ХГ, 9ХВГ	540—580 160—190	*a* — 62—65 61—64 *b* — 35—45
 Сегмент дисковой пилы по металлу	Быстрорежущая сталь	540—580	*a* — 61—65 *b* — не более 45

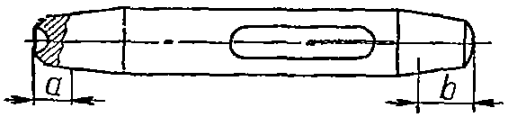
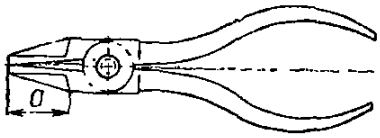
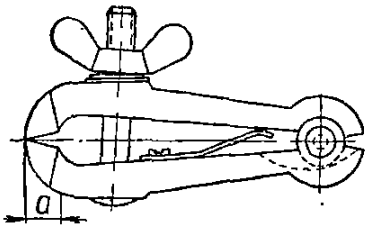
Продолжение табл. 11

Инструмент	Рекомендуемая марка стали	Температура отпуска рабочей части инструмента в °С	Твердость *HRC* на длине
 Зубило для насечки напильников	Быстрорежущая сталь	540—580	*a* — 61—64
 Напильник	У7—У13, ШХ6, ШХ9, ШХ12		*a* — должен сцепляться с пластинкой, имеющей не менее *HRC* 54. Напильники для заточки пил должны сцепляться с пластинкой, имеющей твердость не менее *HRC* 57

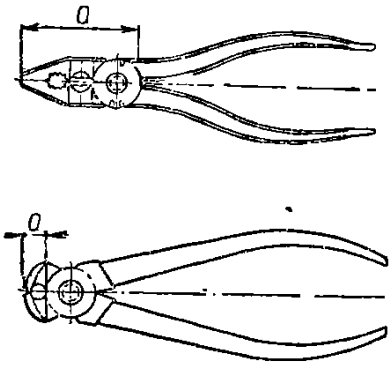
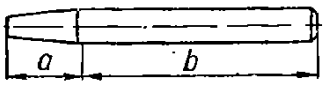
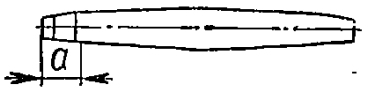
Инструмент	Рекомендуемая марка стали	Температура отпуска рабочей части инструмента в °С	Твердость *HRC* на длине
 Полотно ножовочное	У8 — У12, Х6ВФ, 9ХС	180—220 220—250	*a* — 58—61 58—61 *b* — 40—45
Измерительный инструмент			
 Скоба	У10А — У12А, ХГ, ХВГ, Х09, ШХ15, 10, 15, 20, 15Х, 20Х, 15ХГ	150—180	*a* — 56—64
 Калибр			

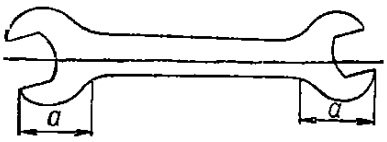
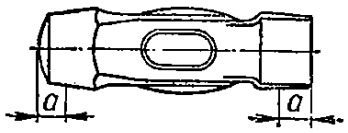
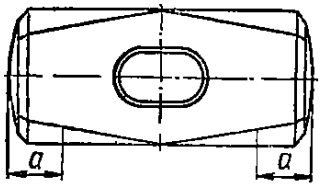
Инструмент	Рекомендуемая марка стали	Температура отпуска рабочей частн инструмента в °С	Твердость *HRC* на длине
	Штампы для горячей штамповки		
 Штамп для горячей штамповки	У7А, У8А	400—430	*a* — 40—43
	5ХНМ	500—600	35—44
	5ХГМ	500—600	33—41
	5ХНТ	485—550	35—41
	7Х3	560—600	39—44
	30ХГС	460—520	30—34
	4ХС, 35ХГС	600—650	30—34
	4ХВ2С	530—600	31—38
	5ХВ2С	425—475	32—39
	6ХВ2С	550—600	35—40
	3Х2В8	600—700	39—49
	4Х8В2	500—575	40—48
Ножи для горячей резки	6ХС	300—420	*b* — 52—56
	4Х3ВФ		На 6—10 едниц
	4Х5ВНФМ		Меньше
	4Х5В2ФС		
	Пресс-формы для литья		
	3Х2В8	500—575	46—50
	4Х8В2	500—540	46—50
	5ХНМ	400—500	43—48
	5ХГМ	400—450	43—46
	4ХВ2С	450—500	40—44
	5ХВ2С	350—400	42—45
	4Х2В5ФМ		

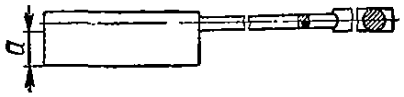
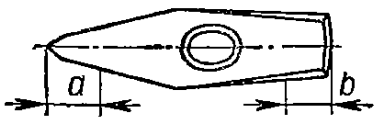
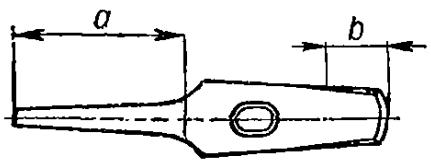
Инструмент	Рекомендуемая марка стали	Температура отпуска рабочей части инструмента в °С	Твердость *HRC* на длине
	Пресс-формы для пластмасс		
	12ХН3А	160—200	55—60 после цементации
	У8А, У10А	280—350	50—55
	Штампы для холодной штамповки		
	У8, У9	220—300	54—60
	У10—У12	250—320	54—60
	Х12М	275—520	54—60
	Х12Ф1	200—400	54—60
	ХГ	250—400	56—60
	Х09	200—250	56—60
	9ХС	275—400	54—60
Ножи для холодной резки	6ХС	250—400	52—58
	Слесарный инструмент		
 Зубило	У7, У8 65ХФ	250—320	*a* — 52—57 *b* — 32—40
 Кернер	У7, У8	250—320	*a* — 52—57 *b* — 32—40

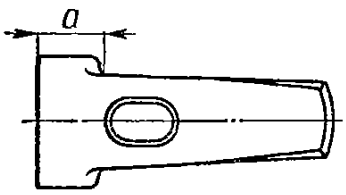
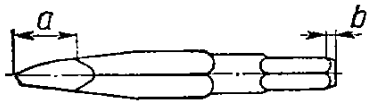
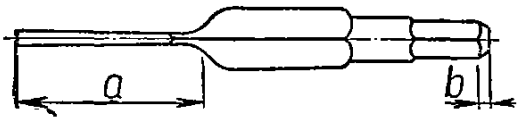
Инструмент	Рекомендуемая марка стали	Температура отпуска рабочей части инструмента в °С	Твердость *HR* на длине
 Обжимка	У7, У8	300—360	*a* — 48—54 *b* — 32—40
 Плоскогубцы	45, 50	300—380	*a* — 42—50
 Тисочки ручные			

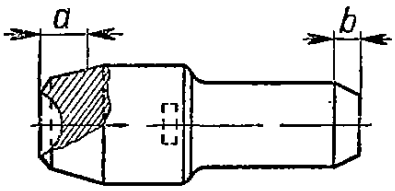
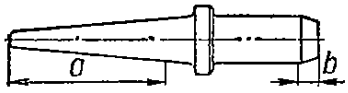
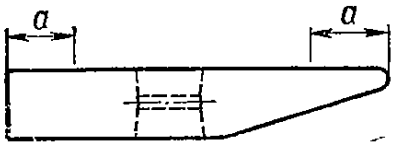
Продолжение табл. 111

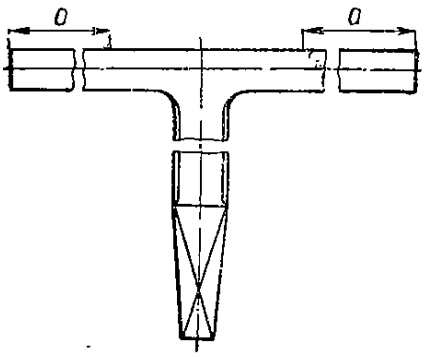
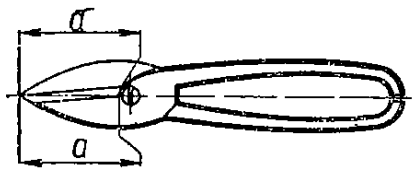
Инструмент	Рекомендуемая марка стали	Температура отпуска рабочей части инструмента в °С	Твердость *HRC* на длине
 Комбинированные плоскогубцы и кусачки	У7, У8	200—320	*a* — 52—60
Комбинированные плоскогубцы и кусачки	У7, У8	200—320	*a* — 52—60
 Клеймо	У7, У8	250—300	*a* — 54—58 *b* — 40—45
 Отвертка	50, 60 У7, У8	280—350	*a* — 46—52

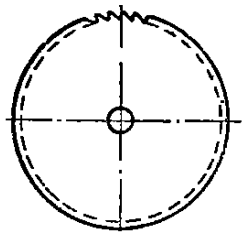
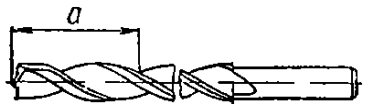
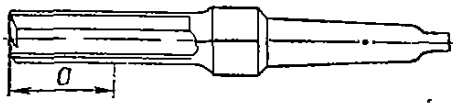
Инструмент	Рекомендуемая марка стали	Температура отпуска рабочей части инструмента в °С	Твердость *HRC* на длине
 Ключ гаечный	Ст 3, сталь 15, 20 40, 50 40Х	320—380 370—425 400—450	*a* — 48—54 (для цементованных) *a* — 40—45 (для остальных)
 Молоток слесарный	У7, У8	270—350	*a* — 49—56
Кузнечный инструмент			
 Кувалда	У7	270—350	*a* — 49—56

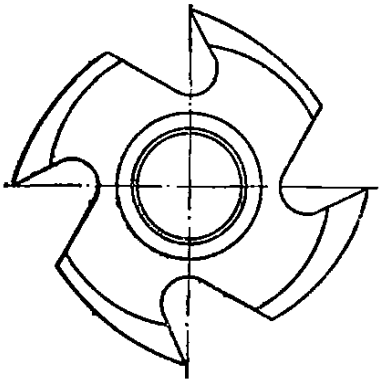
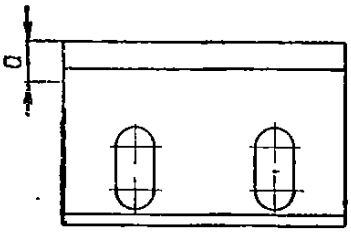
Инструмент	Рекомендуемая марка стали	Температура отпуска рабочей части инструмента в °С	Твердость *HRC* на длине
 Топор кузнечный	50	200—250	*a* — 48—52
 Зубило кузнечное	У7	270—340	*a* — 50—56 *b* — 30—40
 Пробойник кузнечный	У7	270—340	*a* — 50—56 *b* — 30—40

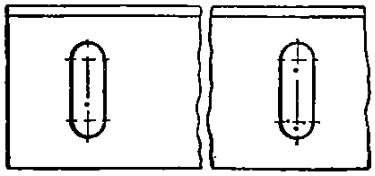
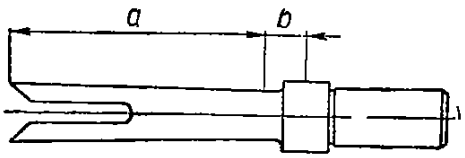
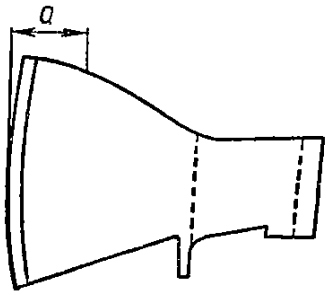
Инструмент	Рекомендуемая марка стали	Температура отпуска рабочей части инструмента в °С	Твердость *HRC* на длине
 Обжимка кузнечная	У7	270—340	*a* — 50—56
Пневматический инструмент			
 Зубило пневматическое	У7, У8, 4ХВ2С	230—270	*a* — 56—59 *b* — 40—50
 Пробойник пневматический	8Х4В4Ф		

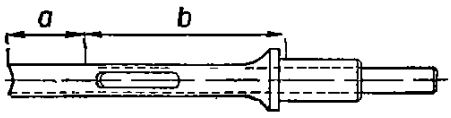
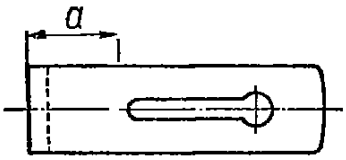
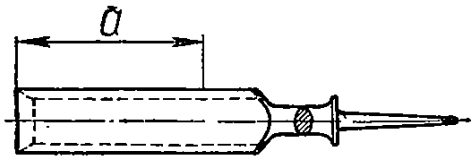
Инструмент	Рекомендуемая марка стали	Температура отпуска рабочей части инструмента в °С	Твердость *HRC* на длине
 Обжимка пневматическая	У7, У8	270—300	*a* — 53—56 *b* — 40—50
 Выколотка			
Медницко-жестяницкий инструмент			
 Молоток кровельный	У7	330—380	*a* — 45—50

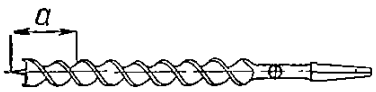
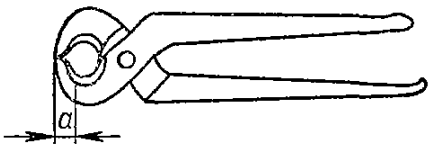
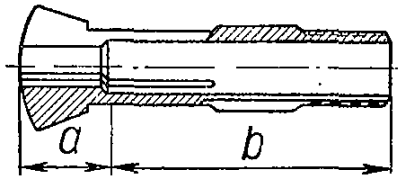
Инструмент	Рекомендуемая марка стали	Температура отпуска рабочей части инструмента в °С	Твердость *HRC* на длине
 Шперак	У7	330—380	*a* — 45—50
 Ножницы кровельные	У7	200—320	*a* — 52—60

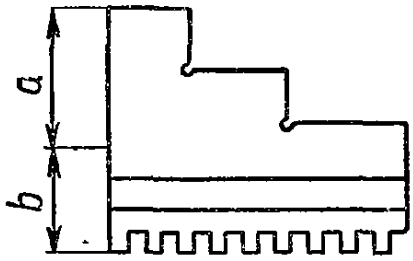
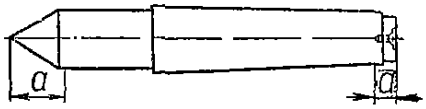
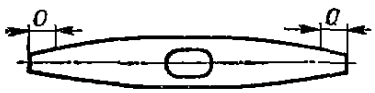
Инструмент	Рекомендуемая марка стали	Температура отпуска рабочей части инструмента в °С	Твердость *HRC* на длине
	Деревообделочный инструмент		
 Пила круглая	85ХФ, 65Х, ШХ6 У8А	450—500	40—42
 Сверло спиральное	У8 — У10 85ХФ, 65Х	250—275 240—280	*a* — 56—58
 Фреза концевая	6ХВ2С, ХГ Х6ВФ, 65ХФ		

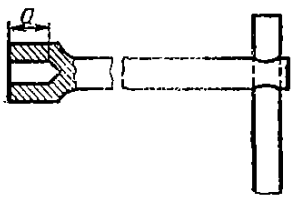
Инструмент	Рекомендуемая марка стали	Температура отпуска рабочей части инструмента в °С	Твердость *HRC* на длине
 Фреза насадная	У8, У10, 85ХФ, 65Х 6ХВ2С, ХГ, Х6ВФ	250—275 240—280	56—58
 Нож строгальный	У7, У8, У9, 85ХФ, 65Х, 6ХВ2С, Х6ВФ, 9Х5ВФ, 8Х4В4Ф	230—275	*a* — 56—58

Инструмент	Рекомендуемая марка стали	Температура отпуска рабочей части инструмента в °С	Твердость *HRC* на длине
 Нож циклевальный	У7, У8, У9	330—375	45—50
 Долото станочное сплошное	У8, У9, 65Х	250—275	*a* — 56—58 *b* — 40—45
 Топор плотничий	У7, У8, У10	260—340	*a* — 50—56

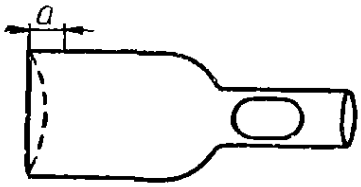
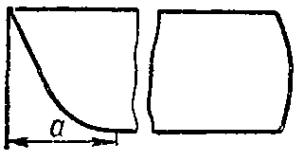
Инструмент	Рекомендуемая марка стали	Температура отпуска рабочей части инструмента в °С	Твердость *HRC* на длине
 Долото станочное полое	У8, У9, 65Х	320—350	*a* — 50—52 *b* — 40—45
 Железка для рубанка	У8, У9	200—320	*a* — 53—60
 Стамеска	У8, У9, 65Х	250—320	*a* — 53—58

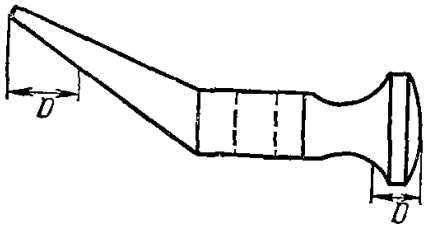
Ииструмент	Рекомендуемая марка стали	Температура отпуска рабочей части инструмента в °С	Твердость *HRC* на длиие
 Сверло витое	У7, У8	360—420	*a* — 44—48
 Клещи столярные	У7	330—400	*a* — 43—50
Детали приспособлений и крепежно-зажимный инструмент			
 Патрон цанговый	У8, У10, 65Г	200—250	*a* — 58—62 *b* — 40—45

Инструмент	Рекомендуемая марка стали	Температура отпуска рабочей части инструмента в °С	Твердость *HRC* на длине
 Кулачок для токарного патрона	45 40Х	300—350 350—400	*a* — 45—50 *b* — 35—42
 Центр	У7	250—300	*a* — 55—58
Путевой инструмент			
 Молоток костыльный	Ст. 6, Ст. 7	300—350	*a* — 45—50

Ииструмент	Рекомендуемая марка стали	Температура отпуска рабочей части инструмента в °С	Твердость *HRC* иа длине
 Ключ торцовый	Ст. 5	200—300	*а* — 35—40
 Подбойка маховая	Ст. 6, Ст. 7	300—330	*а* — 47—50
 Подбойка торцовая	Ст. 6, Ст. 7	300—330	*а* — 47—50

Продолжение табл. 111

Инструмент	Рекомендуемая марка стали	Температура отпуска рабочей части инструмента в °С	Твердость *HRC* на длине
 Топор для зарубки шпал	Ст. 6, Ст. 7	200—300	*a* — 49—56
 Кирка острокопечная	Ст. 5	200—250	*a* — 38—42
Шорный инструмент			
 Нож шорный	65, 70, У7, У8	320—360	*a* — 49—53

Инструмент	Рекомендуемая марка стали	Температура отпуска рабочей части инструмента в °С	Твердость *HRC* на длине
 Нож закройный	65, 70, У7, У8	280—320	*a* — 53—56
 Молоток шорный	45, 50	350—420	*a* — 40—46
Строительный инструмент			
Отрезовки, гладилки, кельмы	У7 — У10	300—400	42—52
Вески	Ст. 5	200—250	45—50
Молоток-кулачок, молоток-кирочка, кирка-мотыга	50—70	350—420	43—51
Ломы прямые и лапчатые	Ст. 5 — Ст.7	200—300	48—52

Примечания. 1. Цилиндрические хвостовики сверл, разверток и фрез закалке не подвергаются. 2. Пневматический инструмент — крейцмессели, чеканы и насечки обрабатываются так же, как и зубила пневматические. 3. Иструменты для жестяных работ — дзвильники, амбосы, скребки и другие обрабатывают так же, как и шпераки.

Режущий инструмент. Нагрев длинного инструмента рекомендуется производить в подвешенном состоянии. При работе в камерных печах этот инструмент следует класть на специальные подставки, обеспечивающие сохранение прямолинейности при нагреве. Сварной инструмент следует греть ниже сварного шва. При нагреве в электродносоляных ваннах крупных инструментов необходимо следить за тем, чтобы инструмент во избежание пригара не касался электродов.

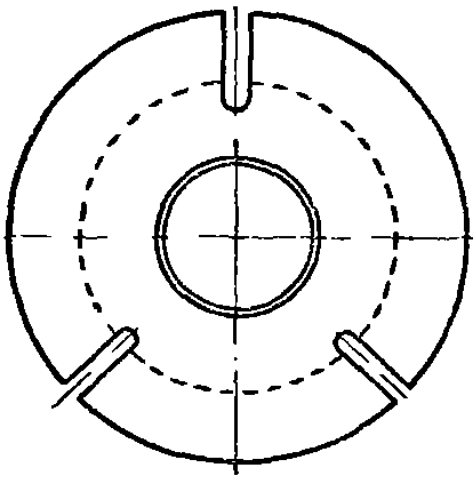
При воздушной закалке инструмент во избежание коробления не следует класть на пол или плиты; его надо подвешивать или ставить хвостовиками в ящики с песком.

Мелкий инструмент цилиндрической формы диаметром до 6—8 *мм* следует закаливать под утюгом.

Тонкий плоский инструмент из быстрорежущей стали закаливают между плитами. Если плиты не охлаждаются изнутри, их перед закалкой следует смазать маслом.

Закаливаемый в воде инструмент следует погружать в воду быстро во избежание возникновения трещин в части инструмента, охлаждаемой раньше, чем другие.

Круглые резцы из углеродистой стали для предотвращения появления трещин при закалке необходимо прорезать миллиметровой фрезой (фиг. 29).



Фиг. 29. Резец из углеродистой стали, надрезанный перед закалкой.

Ступенчатый инструмент охлаждают толстой частью вниз. Изделия с глухими отверстиями охлаждают глухим отверстием вверх или в специальном приспособлении — струей.

В концевом инструменте из углеродистой и легированной стали при нагреве в соляных печах сначала термически обрабатывают хвостовик, а затем режущую часть, а в инструменте из быстрорежущей стали — сначала режущую часть, а потом хвостовик.

При перезакалке изделий следует производить предварительный отжиг с медленным нагревом, что особенно важно для быстрорежущей стали с целью предотвращения появления «нафталиинога» излома.

При испытании напильников на твердость при помощи стальной закаленной пластинки случается, что по одной стороне напильник скользит, а к противоположной прилипает, т. е. одна сторона мягкая, а другая твердая.

Чаще всего этот брак случается из-за высокой твердости подкладки, на которой насекают напильник.

Зубья напильников, лежащих на твердой подкладке, тупятся при ударе по противоположной стороне. Если подкладка изготовлена из материала, который наклепывается (алюминий и т. п.), то необходимо периодически отжигать его (периодичность отжига определяют практически). Применяют также сплав из 87% свинца и 13% сурьмы.

Кольцевые трещины в сварном инструменте возникают примерно на расстоянии 1—3 *мм* от сварного шва на быстрорежущей стали.

Причиной возникновений этих трещин является быстрое охлаждение инструмента от температуры сварки и происходящая в связи с этим закалка на воздухе околосварной зоны быстрорежущей стали.

Для предотвращения появления трещин необходимо заготовки после сварки загружать в печь, имеющую температуру 740—760° С.

После наполнения печь охлаждают до 500—600° С и заготовки выгружают на воздух.

Штампы для горячей штамповки. Для закалки штампы мелкие и средние можно загружать в печь, нагретую до требуемой температуры, а штампы больших размеров — весом до тонны и больше — в печь, нагретую до температуры 750—780° С.

При отсутствии в закалочном баке душевого охлаждения погружать штамп нужно вверх зеркалом. Штампы из углеродистой стали для увеличения глубины прокаливаемости предварительно проходят нормализацию. В молотовых штампах твердость хвостовой части должна быть ниже твердости рабочей части на *НВ* 50 —100. Отпуск хвостовой части обычно производится на плитах или у раскрытой дверки печи.

Передавать штампы на отпуск следует в горячем состоянии немедленно по извлечении из закалочного бака. При высоком отпуске ие рекомендуется помещать холодный штамп в печь, нагретую до температуры отпуска, во избежание образования трещин.

Некоторые заводы с успехом применяют для увеличения стойкости штампов азотирование рабочей поверхности на глубину до 0,2 *мм*.

Пресс-формы для литья под давлением. Наиболее стойкой сталью для пресс-формы для литья под давлением является сталь 3Х2В8. Она хорошо противостоит отпуску при нагреве до 600° С. Практика работы пресс-форм показывает, что чем выше поверхностная твердость пресс-форм, тем лучше их износостойкость и тем меньше налипание жидкого металла на пресс-форму. Для повышения поверхностной твердости пресс-форм производят химико-термическую обработку ее. Наилучшим видом термической обработки пресс-форм следует признать азотирование и цианирование, так как при них происходит наименьшая деформация.

Приводим технологический процесс изготовления пресс-форм из стали 3Х2В8, подвергаемых цианированию: 1) предварительная механическая обработка заготовки; 2) термическая обработка заготовки— закалка от 1075—1125° С и отпуск при 700—720° С на твердость *HRC* 30—34; 3) окончательная механическая обработка; 4) цианирование газовое, жидкое или твердое (при 560—580° С на глубину примерно до 0,08—0,10 *мм*). Промывка в керосине и протирка. Твердость цианированной пресс-формы свыше *HRC* 60. Напряжения, появляющиеся в пресс-форме во время работы, и появление трещин разгара можно предотвратить периодическими отпусками при температуре на 50° С ниже первоначального отпуска через определенные промежутки времени работы пресс-формы.

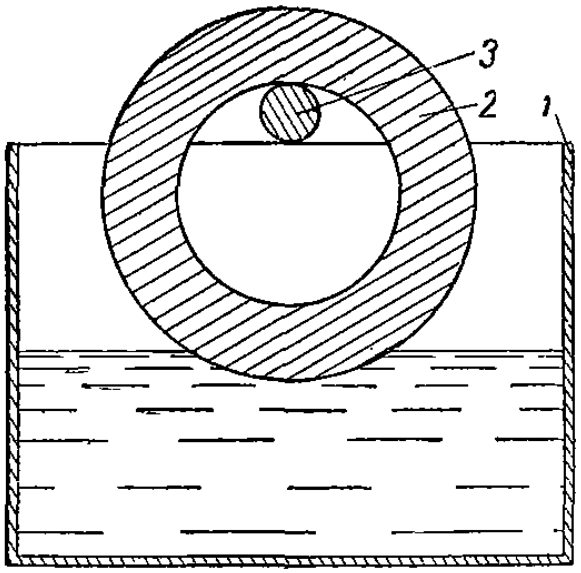
Пресс-формы для пластмасс сложной конфнгурации изготовляют из стали 12ХН3А с последующей цементацией на глубину 0,8—1,0 *мм* и закалкой на твердость *HRC* 55—60. Для уменьшения деформации рекомендуется закалку вести в струе сжатого воздуха.

Штампы для холодной штамповки. Штампы, закаливаемые в воде, необходимо предохранять от появления трещин у вспомогательных отверстий путем двух- и трехкратного прерывистого погружения этих мест в воду. В пуансонах из углеродистой стали во избежание коробления рекомендуется сначала прерывистым погружением охладить хвостовик, а затем погрузить полностью вверх рабочей частью.

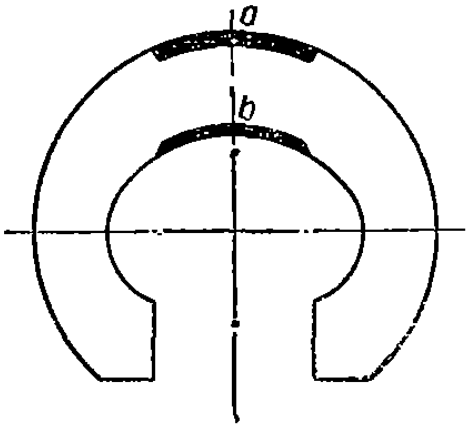
Твердость дыропробивных пуансонов должна постепенно снижаться от *HRC* 54—58 на рабочем торце до *HRC* 40—44 на хвостовой части.

Сложные матрицы изготовляют из сталей Х12М и Х12Ф1. Для борьбы с деформацией применяют следующие способы закалки:

1) нагрев до 950—1000° С, охлаждение с печью или ванной до 850° С и закалка на спокойном воздухе или 2) нагрев до 1040—1060° С для стали Х12М и до 1060—1080° С для стали Х12Ф1, охлаждение в ванне с жидкой средой при 430—470° С в течение 30—60 *мин*, а затем на воздухе. После закалки матрицу проверяют: при отсутствии деформации дают отпуск при 150—170° С, а при уменьшении наружных размеров дают отпуск при 520° С в течение 15—30 *мин* и снова проверяют размеры. Если размеры при этом не восстановились полностью, то отпуск при 520° С повторяют (метод тепловой доводки). При правильном режиме закалки размеры увеличиваться, как правило, не должны.



Фиг. 30. Способ посадки кольца:
1 — бак с водой; *2* — калибр-кольцо; *3* — стержень для подвески кольца.



Фиг. 31. Способ сжатия и разжатия скоб:
а — зоиа иагрева для разжатия; *б* — зоиа нагрева для сжатия.

Следует проверять сталь на карбидную строчечность, так как с увеличением последней увеличивается степень деформации.

Измерительный инструмент. Уменьшение деформации достигается улучшением калибров после черновой механической обработки, а также закалкой в горячих средах.

Кольца, в которых увеличился при закалке диаметр, можно «посадить» двумя способами:

1. Независимо от марки стали нагреть кольцо до 700—710° С и охладить в воде. Повторяя эту операцию, кольцо можно значительно посадить.

2. Нагреть кольцо до 700—800° С, надеть на оправку (фиг. 30) так, чтобы кольцо погрузилось в воду на 15—25 *мм* и вращать на оправке до полного остывания.

Исправление скоб, изменивших при закалке размеры, производится при нагреве ТВЧ (фиг. 31).

Отпуск измерительного инструмента производится дважды: первый раз после закалки для снятия внутренних напряжений, а второй раз после шлифовки для снятия иапряжений, возникших при шлифовке, и предотвращения появления деформации при хранении (искусственное старение). Температура старения не должна превышать температуры первого отпуска. Длительность старения в зависимости от размера

инструмента от 2 до 5 *ч* с момента прогрева. Длинные инструменты следует нагревать при старении в подвешенном состоянии.

При определении глубины цементации измерительного инструмента в зависимости от толщины инструмента можно пользоваться следующими данными:

Толщина инструмента в *мм*	3—5	5—10	10—15	до 20 и выше
Глубина цементации в *мм*	0,3—0,5	0,5—0,8	0,6—0,9	0,8—1,0

Деревообделочный инструмент. Круглые пилы закаливают под прессом до полного охлаждения или в масле в вертикальном положении. Когда пила охладится примерно до 400—300° С, ее вынимают и зажимают между двумя плитами до полного охлаждения. Отпускают пилы зажатыми в струбцинах. Для лучшего выпрямления пилы во время отпуска рекомендуется производить подтяжку болтов струбцины.

В станочных долотах места перехода от тонкой части к толстой, а также стенки у отверстия в полом долоте следует закаливать так, чтобы получить небольшую твердость.

Слесарный инструмент. Составной инструмент — плоскогубцы, круглогубцы, кусачки, ручные тисочки закаливают в собранном виде с раскрытыми губками. Места шарниров калить не рекомендуется.

Кусачки и комбинированные плоскогубцы во избежание трещинообразования следует калить в керосине или масле при энергичном помешивании. Крупные комбинированные плоскогубцы надо калить в воде с переносом в масло. Кровельные ножницы закаливать в разобранном виде. Отверстие для заклепки нагревать и закаливать не следует. Охлаждение следует вести в керосине или масле.

Инструмент из углеродистой стали, нагретый по всей длине, при необходимости закалки концов (зубила, молотки и пр.) калят «в перекидку».

При этом способе закалки можно калить сначала тонкую часть инструмента, а потом толстую и наоборот. При закалке сначала тонкой части ее следует замачивать глубже требуемой длины, а при закалке сначала толстой части нужно нагревать до верхнего предела температур.

Гаечные ключи, согласно ГОСТ 2838-54, разрешается изготовлять также из цементуемой стали с глубиной цементации 0,3—0,5 *мм* для ключей толщиной до 4 *мм* и глубиной от 0,6—1 *мм* для ключей толщиной от 5 до 8 *мм*.

Пневматический инструмент часто лопается на галтели в месте перехода к хвостовику. Излом имеет явно усталостный характер, поэтому следует бороться с концентраторами напряжений в этих местах.

Восстановление изношенных калибров-пробок. Изношенные калибры-пробки, имеющие малые размеры и изготовленные из легированной и высокоуглеродистой стали, можно восстановить отпуском в масляной ванне при 210—230° С. Диаметр при этом увеличивается за счет распада остаточного аустенита (табл. 112).

Правка (рихтовка) закаленных изделий. Закаленные и отпущенные изделия при обнаружении коробления выше допустимого подвергают правке.

Инструмент из любой инструментальной стали диаметром или толщиной до 15 *мм* при высокой твердости (*HRC* 50 и выше) правят короткими несильными ударами рихтовочного молотка по всей длине вогнутой стороны, кроме режущих кромок и резьбы, до выпрямления. Опорой инструмента во время рихтовки должна быть закаленная плита.

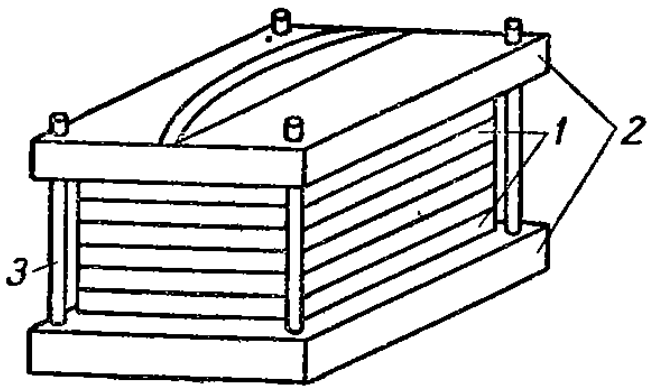
Боек молотка не должен быть острым, чтобы не оставлять на инструменте насечек, которые нельзя удалить последующей шлифовкой.

Таблица 112

Режим термического восстановления резьбовых калибров-пробок из легированной и высокоуглеродистой сталей

Диаметры калибров в *мм*	Температура нагрева в °С	Продолжительность выдержки в *ч*
До 25	225—235	2—5
25—35	225—235	
35—40	215—225	
40—60	205—215	
60—80	205—215	
80—150	200—210	

Инструмент из быстрорежущей стали правят вручную, теплым, сразу после закалки, а инструмент диаметром выше 15 *мм* — под прессом при нагреве до 500—550° С. Для правки инструмент прогибают в сторону, противоположную обнаруженной выпуклости, немного больше, чем до получения правильной формы, и после некоторой выдержки (определяемой практически) и остывания разгружают и проверяют. При недостаточном выпрямлении процесс повторяют. Температуру нагрева (500—550° С) проверяют термокарандашами.



Фиг. 32. Схема подготовки пластин к терморихтовке:
1 — пластины; *2* — плиты; *3* — стяжные болты.

Изделия с твердостью ниже *HRC* 50 правят под прессом в холодном состоянии и подогретыми до температуры отпуска.

Напильники из высокоуглеродистой стали хорошо править деревянным молотком или в специальном приспособлении, прерывая закалку при 140—180° С.

Полукруглые напильники перед закалкой изгибают в сторону плоской грани.

Плоские длинные изделия вынимают из масла при 150—200° С и для выпрямления вставляют в заготовленные плиты с пазами шириной на 0,1—0,15 *мм* большими, чем толщина изделия, где они и остывают. Если длинное изделие плохо правится даже в подогретом состоянии, рекомендуется, чтобы оно остывало от температуры правки в зажатом состоянии.

Абсолютно все изделия, прошедшие правку под прессом или молотком в холодном состоянии, немедленно подвергают повторному отпуску для снятия напряжений.

При весьма большом короблении изделия, форма которого не допускает правку (режущие кромки или резьба по всей длине изделия, рез-

кие переходы и т. п.), в случаях, когда изделие не поддается правке, а также при короблении инструмента из углеродистой или легированной стали больших диаметров следует произвести нормализацию, правку и вторичную закалку с применением всех мер, предотвращающих коробление.

Термическая правка (терморихтовка). При необходимости выправить покоробившиеся пластины применяют терморихтовку (фиг. 32). Пачку пластин закрепляют в приспособлении и выдерживают до полного прогрева в печи: алюминиевые пластины при 240—280° С, а латунные — при 400—600° С. Верхний предел температур применяют для правки более толстых пластин.

3. Технология термической обработки некоторых деталей машин

В табл. 113, 114 и 115 приведены назначение и технические условия деталей станков, автомашин и сельскохозяйственных машин.

1. Шестерни. Тяжело нагруженные шестерни трансмиссий передач, работающие при высоких окружных скоростях (выше 4 *м/сек*) в станках, в автомобилях и т. п., изготовляют из сталей 15, 20, 12ХН3А, 15ХГНР, 14ХГ2НР * и других, цементуют на глубину 0,8—1,2 *мм* и закаливают на твердость *HRC* 56—62.

Менее нагруженные шестерни, работающие при средних окружных скоростях (2—4 *м/сек*), изготовляют обычно из сталей 40Х, 45Х и обрабатывают на твердость *HRC* 40—50.

Слабо нагруженные шестерни, работающие при небольших окружных скоростях (до 2 *м/сек*), изготовляют из сталей 40 и 45 и подвергают улучшению на твердость *HB* 200—300 в зависимости от степени нагружения.

В настоящее время закалку шестерен производят главным образом при поверхностном нагреве. В практике закалки шестерен при нагреве ТВЧ применяют три способа закалки.

1. Закалка одновременным способом. Нагрев в кольцевом индукторе с последующей сквозной закалкой зуба и впадины на глубину 2—5 *мм*. Твердость после отпуска не выше *HRC* 44. Применяют для шестерен с $m \leqslant 4$.

2. Закалка последовательным способом «зуб за зубом». Нагрев производят в индукторе каждого зуба в отдельности. Твердость после отпуска *HRC* 50—55. Применяют для шестерен с модулем от 5 до 8.

3. Закалка непрерывно-последовательным способом «впадина за впадиной». Нагрев производят в специальных станках [56], питаемых от машинных генераторов при помощи индукторов с магнитопроводами. После закалки — низкий отпуск при 180—200° С. Твердость не менее *HRC* 50. Применяют для шестерен с модулем $m \geqslant 8$.

Последний способ закалки имеет то преимущество, что при нем закаливается поверхностный слой профиля зуба и впадины, кроме неработающей вершины зуба (фиг. 33). При втором способе закалки галтель у основания зуба в месте перехода от закаленной зоны к незакаленной, где во время работы концентрируются напряжения, остается неупрочненной и настолько ослабляет основание зуба, что может вызвать его поломку.

---

* Степень легированности применяемой стали увеличивают в связи с нагруженностью детали.

Таблица 113

Ориентировочные твердости и применяемые стали в зависимости от условий работы деталей станков

HRC 56—62	*HRC* 45—50	*HRC* 40—45	*HRC* 35—42	*HB* 228—280
Шпиндели сильнонагруженные. Цементуемая сталь 15ХГНР, 18НВА, 12ХН3А 20Х, 20	Шпиндели сильнонагруженные в подшипниках качения и средненагруженные в подшипниках скольжения. Сталь 40Х и 45Х	Шпиндели слабонагруженные в подшипниках скольжения. Сталь 45 и 50	Шпиндели средненагруженные в подшипниках качения. Сталь 35Х, 38ХА, 40Х, 45Х, ХГ	Шпиндели слабонагруженные, работающие в подшипниках качения Сталь 40 и 45
Валики, работающие при окружных скоростях свыше 3 *м/сек* и при значительных изгибающих нагрузках. Цементуемая сталь 20Х, 15, 20	Валики в подшипниках скольжения при окружных скоростях 2—3 *м/сек.* Сталь 40Х, 45Х	Валики в подшипниках скольжения при окружных скоростях до 2 *м/сек.* Сталь 45, 50	Сильноиагруженные шлицевые валы. Сталь 35, 38ХА, 40Х, 45Х	Валики средненагруженные в подшипниках качения и слабонагруженные в подшипниках скольжения. Сталь 40, 45

HRC 56—62	*HRC* 45—50	*HRC* 40—45	*HRC* 35—42	*HB* 228—280
Втулки средненагруженные. Цементуемая сталь 20Х, 15, 20. Для кондукторных втулок ХГ	—	—	—	—
Червяки сильнонагруженные. Цементуемая сталь 20Х, 15, 20, азотируемая сталь 38ХЮ, 38ХМЮА, 40ХНМ, 38ХВФЮ	—	—	—	Червяки неответственные, слабо нагруженные. Сталь 40, 45
Кулачковые муфты сильнонагруженные. Цементуемая сталь 20Х, 15, 20	—	—	—	Кулачковые муфты неответственные. Сталь 40, 45
Кулачки, ролики эксцентрики, собачки храпового механизма, копиры, статоры гидронасосов и другие детали, работающие на истирание. Сталь ШХ15, ШХ12	—	Установочные кольца. Сталь 40, 45	—	—

Таблица 114

Рекомендуемые стали и примерные твердости некоторых деталей автомашин

Деталь	Марка стали	Требуемая твердость *HRC*	Примечание
Втулки ремонтные	20, 18ХГТ	56—62	Цементовать 0,7—1,0 *мм*
Валы коленчатые	45	56	Поверхностная закалка шеек
Валы распределительные	45	56	То же
Клапаны впускные	40Х	56	
Клапаны выпускные	СХ8, 4Х10С2М	45 *HRB*	Закалка опорного кольца
Кольца поршневые	перлитный чугун	98—106	Термофиксация на оправке в разведенном состоянии при 580—600°С—30 *мин*
Нормали, болты, гайки и т. п.	40Х, 45	28—35	
Нормали, работающие на трение	20Х, 20	50—60	Цементовать 0,6—1,0 *мм*, калить рабочую часть
Пальцы поршневые	15Х, 20	56	Цементовать 0,7—1,2 *мм*
Пальцы шаровые	18ХГТ, 12ХН3А	56	Цементовать 1,0—1,5 *мм*, калить головку
Пальцы рессорные	20, 20Х	56	Цементовать 1,0—1,3 *мм*, резьбу отпустить до *HRC* 35—40
Шкворни поворотного кулака	12ХН3А, 12Х2Н4А, 20Х	56	Цементовать 0,7—1,2 *мм*

Таблица 115

Рекомендуемые стали и примерные твердости некоторых деталей сельскохозяйственных машин

Деталь	Марка стали	Твердость *HRC*	Примечание
Боковины сошника и загортачи картофелесажалки	65Г	38—50	—
Вкладыши самоходного комбайна	35	45—50	Цементовать 0,6—1 *мм* на длину 20 *мм*

Продолжение табл. 115

Деталь	Марка стали	Твердость *HRC*	Примечание
Валы и оси средненагруженные	45—40 Ст. 5	30—40 40—45	В зависимости от нагруженности
Валы и оси сильнонагруженные	Ст. 5	52—58	Закалка ТВЧ
Диски полевые (для плугов, борон и т. д.)	Ст.6, Л53, 65Г, 70Г	35—50	
Держатель шпагата	У9	40—50	Местная закалка
Звенья цепи элеватора картофелеуборочных машин	65Г	38—45	То же
Зубья молотильных барабанов и дек	45, Ст.6	42—52	»
Зубья поперечных грабель	65Г, 70Г	37—46	Твердость пальца *HB* 269
Звездочки вала барабана комбайна	15	54—62	Цементовать 1,0—1,5 *мм*
Крылья отвала окучника	Ст.5	⩾33	—
Косы сельскохозяйственные	У7А, У8А	40—50	—
Крестовина шарнира гука и крестовина кардана	Ст.2	40—55	Цементовать 0,8—1,2 *мм*
Лапы культиваторов разных типов	65Г—70Г	38—50	Калить зону лезвия
Лемехи разные	Л53, 50, Ст.6	38—50	Калить рабочую часть
Молотки, дробилки	Ст.2	56—62	Цементовать, калить рабочую часть
Наральники борон и сеялок	Л53, Ст.5	38	Калить рабочую часть
Ножи кормообрабатывающих машин	У9, 65Г, 70Г	46—56	То же
Ножи свеклоуборочных машин	У9	⩾45	—
Ножи узловязателя сноповязалок	У9	50—58	Калить рабочую часть
Ножи и гребенки аппарата для стрижки овец	У12А, У13А	⩾60	—
Отвалы разные	Ст.2	⩾50	Цементовать 1,0—1,5 *мм*
Пилы джинные и линтарные хлопкоочистительных машин	85	30—35	—
Пластинки и собачки автомата плуга	Ст.2	45—50	Цементовать

Продолжение табл. 115

Деталь	Марка стали	Твердость *HRC*	Примечание
Палец самоходного комбайна	40	35—40	—
Сегменты режущих аппаратов уборочных машин	У9	50—60	Калить рабочую часть
Стойки пружинные культиваторов	65Г, 70Г	38—47	—
Сухарь самоходного комбайна	40	45—50	—
Червяки высокой прочности и износостойкости	40Х	38—45	—
Червяки высокой износостойкости	20, Ст.2	50—58	Цементовать 0,8—1,2 *мм*

Газопламенная закалка шестерни непрерывно-последовательным способом «зуб за зубом» на установках УЗШ-1 и УЗШ-2 страдает тем же недостатком.



Фиг. 33. Зубья шестерни, закаленные по способу «впадина за впадиной».

ВНИИавтогеном предложен способ одновременной закалки шестерен с модулем $m = 2 \div 8$ на установке УГЗ-58, в которой прокаливаются зуб насквозь и впадина. Такой же обработки для шестерен этих модулей можно достичь при нагреве ТВЧ одновременным способом на генераторах достаточной мощности.

Возможность закалки шестерен со средним модулем по контуру будет решена при внедрении разработанной канд. техн. наук К. З. Шепеляковским (ЗИЛ) стали пониженной прокаливаемости 55ПП, которая при глубинном прогреве прокаливается на небольшую глубину 1—2 *мм* по контуру детали.

Время закалки шестерен приведено в табл. 116.

Термическая обработка пружин. Проволока и лента, применяемые для изготовления пружин, не должны иметь волосовин, трещин, вмятин с острыми гранями и других дефектов. Вмятины пологие без резких переходов допустимы. Твердость термически обработанных пружин в зависимости от назначения *HRC* 36-52.

Таблица 116

Время закалки шестерен при одновременном нагреве

Генератор		Шестерня			Время в *сек*	
Тип	мощность в *квт*	Модуль	Число зубьев	Диаметр начальной окружности в *мм*	Нагрев	Охлаждение
Ламповый	60	2	30	60	8	5
	60	2,5	50	125	14	7
	60	3	70	210	60	20
Машинный	100	6	70	300	100	

При изготовлении цилиндрических пружин длина отжигаемого конца равна 1,25 D, где D — диаметр оправки.

При нагреве в печи необходимо принимать меры для предотвращения окисления и обезуглероживания, в особенности пружин малых сечений.

Выдержка в печи должна быть наименьшей. Мелкие пружины следует класть на нагретый противень. Пружины из проволоки диаметром свыше 6 *мм* перед закалкой отпускают при температуре 670—700° С. Крупные спиральные пружины во избежание деформации нагревают при закалке и отпуске в специальных приспособлениях. Перед отпуском пружины необходимо очистить от масла. Отпускать пружины лучше всего в селитровых ваннах в течение 10—12 *мин*. При отпуске в электрических или пламенных печах время отпуска должно быть 20—40 *мин*.

Таблица 117

Режим изотермической закалки пружин

Марка стали	Изотермическое охлаждение		Твердость *HRC*
	Температура в °С	Время выдержки в *мин*	
У10	270	10	51—52
У10	315	10	46—49
65Г	270	15	51—52
65Г	300	5	45
65С2ВА	320	25—30	46

Хрупкость, развивающаяся в пружинах в результате травления или при антикоррозионных покрытиях (травильная хрупкость), частично устраняется нагревом в течение 3—4 *ч* при 240—280° С *.

В случаях, когда указанный нагрев не устраняет повышенной хрупкости, пружины следует отжечь и повторить весь цикл обработки.

Изготовление пластинчатых пружин из термообработанной ленты лучше всего производить методом термофиксации. Просеченную по

* Следует избегать назодороживания, так как нагрев до 280° С ухудшает качество покрытия.

профилю пружины ленту зажимают в приспособлении, имеющем форму готовой пружины, и прогревают в таком виде в течение 20—30 *мин* при 350—400° С, после чего охлаждают с приспособлением на воздухе. В случае, если пружина после разгрузки не имеет требуемый по чертежу профиль, иужно опытным путем подобрать форму приспособления. Приспособлеиия выполняют многоместными.

Исследование последнего времени указывает на то, что продолжительный отпуск снижает предел упругости, ухудшая качество пружин.

Рекомендуется изотермическая закалка пружин по режнму, приведенному в табл. 117.

Глава VII

ЧУГУН — СОСТАВ, СВОЙСТВА И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

1. Химический состав и механические свойства чугунов

В табл. 118 приведен примерный химический состав чугунов, в табл. 119, 120, 121 — механические свойства различных чугунов.

Таблица 118

Примерный химический состав чугунов

Марка чугуна	Состав элементов в %							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mg
Серый	2,5—3,8	1,1—2,7	0,5—1,4	⩽0,6	⩽0,15	⩽0,3	⩽0,5	—
Высокопрочный	2,7—3,7	1,8—3,2	0,4—0,8	⩽0,12	⩽0,03	—	—	0,03—0,10
Ковкий	2,2—3,2	0,7—1,5	0,5—1,0	⩽0,2	⩽0,2	⩽0,1	—	—

Таблица 119

Механические свойства серого чугуна (ГОСТ 1412-54)

Марка чугуна	Механические свойства				Твердость *НВ*
	Предел прочности при растяжении в *кГ/мм²*	Предел прочности при изгибе в *кГ/мм²*	Стрела прогиба в *мм* при изгибе, при расстоянии между опорами в *мм*		
			600	300	
	Не менее				
СЧ00	Не испытывается				
СЧ-12-28	12	28	6	2	143—229
СЧ-15-32	15	32	8	2,5	163—229
СЧ-18-36	18	36	8	2,5	170—229
СЧ-21-40	21	40	9	3	170—241
СЧ-24-44	24	44	9	3	170—241
СЧ-28-48	28	48	9	3	170—241
СЧ-32-52	32	52	9	3	187—255
СЧ-35-56	35	56	9	3	197—269
СЧ-38-60	38	60	9	3	207—269

Таблица 120

Механические свойства высокопрочного чугуна
(ГОСТ 7293-54)

Марка чугуна	Свойства (минимальные значения)				
	$\sigma_в$ в *кГ/мм²*	$\sigma_т$ в *кГ/мм²*	δ в %	$a_к$ в *кГ/мм²*	*НВ*
ВЧ 45—0	45	36	—	—	187—255
ВЧ 50—1,5	50	38	1,5	1,5	187—255
ВЧ 60—2	60	42	2	1,5	197—269
ВЧ 45—5	45	33	5	2	170—207
ВЧ 40—10	40	30	10	3	156—197

Таблица 121

Механические свойства ковкого чугуна
(ГОСТ 1215-59)

Марка чугуна	Механические свойства			*НВ*
	$\sigma_в$ в *кГ/мм²*	Условный предел текучести в *кГ/мм²*	δ в %	
	Не менее			
Ферритный чугун				
КЧ 30-6	30	19	6	163
КЧ 33-8	33	22	8	149
КЧ 35-10	35	23	10	149
КЧ 37-12	37	24	12	149
Феррито-перлитный чугун				
КЧ 40-3	40	—	3	201
КЧ 35-4	35	—	4	201
КЧ 35-3	30	—	3	201

2. Термическая и химико-термическая обработка чугуна

Виды термической обработки серого и высокопрочного чугунов даны в табл. 122 и 123.

Термическую обработку белого чугуна с целью превращения его в ковкий производят по следующей примерной схеме: нагрев в среде, предохраняющей от окисления, до 940—960° С, выдержка 10—12 *ч*, быстрое охлаждение до 760° С, медленное охлаждение в интервале температур 760—700° С в течение 16—20 *ч*, медленное охлаждение до 550° С, а затем с любой скоростью.

Повышения прочности и износоустойчивости изделий из ковкого чугуна можно достичь путем нормализации или закалки с отпуском.

Гермическая обработка	Основные технологическне параметры процесса			
	Скорость нагрева в °С/*ч*	Температура нагрева в °С	Продолжительность выдержкн	Охлажденне
Отжиг низкотемпературный (искусственное старение)	70—100	500—600, легированный чугун до 630	В зависимости от конфигурации отливки 2—8 *ч*	Медленное с печью 20—50°С/*ч* до температуры 250°С
Отжиг низкотемпературный, графитизирующий	Медленно до 550 °С для сложных изделий	680—750	В зависимости от требуемой конечной структуры 1—4 *ч*	Медленное до 250°С для сложных изделий
Отжиг высокотемпературный, графитизирующий	То же	850—950	Достаточная для полного распада свободного цемента (0,5—5 *ч*)	Медленное с печью, выдержка при A_1
Нормализация серого чугуна	»	850—950	Достаточная для насыщения аустенита углеродом (0,5—3 *ч*)	На воздухе
Нормализация отбеленного чугуна	»	850—950	Достаточная для разложения цементита (05—5 *ч*)	»

Таблица 122

химико-термической обработки серого чугуна

Структурные, фазовые превращения	Исходная структура основной массы	Конечная структура	Назначение термической обработки
Нет	Перлитио-ферритная, перлитная	Практически не изменяется	Снятие внутренних напряжений, повышение вязкости, стабилизация размеров изделия, снижение деформации
Распад цементита-перлита	Перлит, перлит + феррит	Феррит + перлит, феррит	Снижение твердости, улучшение обрабатываемости, повышение пластичности, ударной вязкости, прочность чугуна снижается
Распад свободного цементита и частично или полностью цементита-перлита	Свободный цементит+перлит	Перлит + феррит, феррит	Уменьшение твердости, улучшение обрабатываемости. Повышение пластичности
Насыщение аустенита углеродом и его превращение в перлит	Перлит + феррит, феррит	Перлит, сорбитообразный перлит	Увеличение связанного углерода, повышение твердости, прочности, износостойкости
Распад свободного цементита	Свободный цементит+перлит	То же	Понижение твердости, улучшение обрабатываемости. Повышение механических свойств

Термическая обработка	Основные технологическне параметры процесса			
	Скорость нагрева в °С/*ч*	Температура нагрева в °С	Продолжительность выдержки	Охлаждение
Закалка	Медленно до 550°С для сложных изделий	850—930	Достаточная для насыщения аустенита углеродом (0,5—3 *ч*)	В воде, масле
Изотермическая закалка	Простые изделия ускоренно, сложные до 550°С замедленно	830—900	Достаточная для прогрева (0,2—1,5 *ч*)	В закалочной среде с температурой 250—450°С
Поверхностная закалка	Быстрый нагрев поверхностного слоя ТВЧ, газовым пламенем, в электролите	840—950	Достаточная для прогрева заданного слоя (6—10 *сек*)	В воде, масле и других средах
Отпуск	Сложные изделия замедленно	250—500 в зависимости от требуемой твердости	Достаточная для образования стабильных структур (1—3 *ч*)	На воздухе
Азотирование	Медленный нагрев в среде диссоциирующего аммиака	500—580	50—70 *ч*. Для магниевого чугуна 5—8 *ч*	Вместе с печью

Продолжение табл. 122

Структурные, фазовые превращения	Исходная структура основной массы	Конечная структура	Нааначение термической обработки
Превращение переохлажденного аустенита	Перлит, перлит + феррит	Продукты распада переохлажденного аустенита: мартенсит, троостит, сорбит и остаточный аустенит	Повышение твердости до *HB* 500, повышенне прочности, износостойкости
Изотермическое превращение аустенита	То же	Продукты изотермического превращения аустенита: бейнит, троостит, сорбит и остаточный аустенит	Повышение твердости до *HB* 500, повышение прочности, резкое увеличение износостойкости
Превращение переохлажденного аустенита в поверхностном слое	Перлит $\geqslant$ 0,6% ($C_{св}$)	В поверхностном слое продукты превращения переохлажденного аустенита	Повышение поверхностной твердости до *HRC* 55, резкое увеличение износостойкости
Превращение остаточного аустенита, мартенсита, укрупнение карбидной фазы	Мартенсит, троостит, остаточный аустенит	Мартенсит, троостит, сорбит отпуска	Снятие закалочных напряжений, распад твердых растворов, повышение вязкости, пластичности и предела выносливости
Образование в поверхностном слое нитридов	Сорбит, сорбитообразный перлит	В поверхностном слое до 0,4 *мм* нитриды	Повышение твердости *HB* 600—1000, износостойкости, коррозионной стойкости в воздушной среде

Термическая обработка	Основные технологические параметры процесса			
	Скорость нагрева в °С/*ч*	Температура нагрева в °С	Продолжительность выдержки	Охлаждение
Азотирование антикоррозионное	Медленный нагрев в среде диссоциирующего аммиака	500—700	Кратковременная (0,5—1 *ч*)	С печью
Алитирование	Медленный нагрев до 500°С в средах, содержащих алюминий	900—1050	Достаточная для получения требуемого слоя (2—6 *ч*)	С печью или на воздухе
Хромирование	Медленный нагрев в средах, содержащих хром	950—1000	В твердой среде 10—12 *ч*, в газовой 5 *ч*	То же
Сульфидирование	Медленный нагрев в средах, содержащих серу	550—600	Для получения слоя 0,3 *мм* 3 *ч*	На воздухе

Виды термической обработки высокопрочного чугуна с шаровидным графи-

№ п/п	Виды термической обработки	Режим	Важнейшие результаты
			Изменение структуры
1	Снятие напряжений	Медленный нагрев до 500°С, выдержка 2—3 *ч*, охлаждение с печью до 200°С	Не происходит
2	Отжиг графитизирующий	Нагрев до 900—950°С, выдержка 2—5 *ч*, охлаждение с печью	Разложение структурно свободного цементита; получение перлитно-ферритной структуры металлической основы

Продолжение табл. 122

Структурные, фазовые превращения	Исходная структура основной массы	Конечная структура	Назначение термической обработки
Насыщение поверхностного слоя азотом	Любая	В поверхностном слое до 0,06 *мм* нитриды	Повышение антикоррозионных свойств при работе в среде пара, воды
Насыщение поверхностного слоя алюминием	Любая структура серого чугуна	В поверхностном слое фазы, содержащие алюминий	Повышение жаростойкости
Насыщение поверхностного слоя хромом	То же	В поверхностном слое фазы, содержащие хром — карбид хрома	Резкое повышение поверхностной твердости до *HB* 1600, износостойкости, жаростойкости и антикоррозионных свойств
Насыщение поверхностного слоя серой	Перлит, сорбит, перлит + феррит	Образование сульфидов в поверхностном слое	Улучшение прирабатываемости, исключение задиров, повышение износостойкости

Таблица 123

том, их режимы, влияние на структуру и свойства, области применения

термической обработки		Область применения
Изменение механических свойств	Прочие изменения	
Не происходит	Снятие 80—90% внутренних напряжений	Отливки сложной конфигурации
Некоторое повышение пластических свойств	Улучшение обрабатываемости резанием	Исправление отливок, имеющих в литом состоянии структурно свободный цементит

№ п/п	Виды термической обработки	Режим	Важнейшие результаты: Изменение структуры
3	Отжиг*	Нагрев до 900°С, выдержка 2 *ч*, охлаждение с печью до 740°С, выдержка 2—5 *ч*, охлаждение с печью до 680°С, дальнейшее охлаждение на воздухе	Получение ферритной структуры металлической основы
4	Нормализация и отпуск	Нагрев до 900—950°С, выдержка 2—3 *ч***, охлаждение на воздухе. Отпуск по режиму: нагрев до 550—600°С, охлаждение с печью	Металлическая основа приобретает структуру сорбита и сорбитообразного перлита
5	Закалка***	Нагрев до 900°С, закалка в масле	Металлическая основа — мартенсит
6	Изотермическая закалка	Нагрев до 850—880°С, выдержка 30—45 *мин*, передача в ванну, нагретую до 300—350°С, выдержка в ванне 60 *мин*	Металлическая основа — сорбит
7	Поверхностная**** закалка с использованием ТВЧ	Закалка с 950—1100°С в зависимости от структуры исходного чугуна	Мартеисит и феррит

* При наличии в отливке структурно свободного цементита термическая обработка
** Выдержку увеличивают до 5 *ч* в случаях наличия в отливке структурно свобод-
*** Применение отпуска после закалки вызывает заметное изменение структуры и
леднем случае механические свойства приобретают значения, аналогичные
**** В ряде случаев может быть использована также и поверхностная пламенная

Продолжение табл. 123

термической обработки		Область применения
Изменение механических свойств	Прочие изменения	
Значительное повышение удлинения и ударной вязкости. Небольшое снижение предела прочности	Улучшение обрабатываемости резанием, ухудшение износостойкости	Для всех отливок из чугуна ВЧ 40-10 и многих отливок из чугуна марки ВЧ 45-5
Повышение предела прочности до 40%	Повышение износостойкости за счет увеличения количества перлита	Для отливок, требующих повышенной прочности и износостойкости (например, коленчатые валы)
Повышение твердости	То же	Области применения весьма ограничены в связи со склонностью к образованию закалочных трещин
Значительное повышение предела прочности	»	Мелкие изделия простой конфигурации, работающие в тяжелых условиях на износ
Повышение усталостной прочности	Резкое повышение износостойкости	Высоконагруженные изделия, требующие повышенной износостойкости

№ 2 и 3 объединяется.
ного цементита.
твердости при повышении температуры отпуска до 600°С и выдержке 3 *ч*. В пос-
имевшимся в литом состоянии.
закалка.



Фиг. 34. Отпечаток от испытания на твердость закаленного чугуна по Роквелу при нагрузке 60 *кГ*.



Фиг. 35. Микротвердость тракторной чугунной гильзы: *а* — незакаленной зоны *HV* 320; *б* — закаленной зоны *HV* 800.

Режимы термической обработки для улучшения свойств изделий из ковкого чугуна следующие: нормализация при температуре нагрева 820—860° С, выдержка 20—40 *мин*, охлаждающая среда — воздух; закалка при температуре нагрева 800—830° С, выдержка 10—30 *мин*, охлаждающая среда — вода или масло и отпуск при температуре нагрева 650° С. Причем отпуск производят немедленно после закалки.

3. Контроль закаленных чугунных изделий на твердость

Проверка твердости чугуна после закалки по Роквелу не дает истинной картины качества закалки из-за графита, имеющегося в чугуне. На фиг. 34 показан отпечаток от испытания по Роквелу при нагрузке 60 *кГ* закаленной поверхности чугунной гильзы цилиндра трактора. Рядом очерчен кружок такого же диаметра, чтобы было видно, какое количество графита попадает в зону внедрения алмаза. Твердость этой гильзы *HRC* 45, а твердость ее металлической основы, проверенной на приборе ПМТ-3, *HRC* 62 (фиг. 35). Отсюда ясно, что твердость *HRC* 45 является усредненной твердостью и зависит не только от степени закалки, но и от количества графита, находящегося в чугуне и обладающего твердостью всего *HB* 6—10.

Глава VIII

МЕДЬ, НИКЕЛЬ И ИХ СПЛАВЫ

1. Медь и ее сплавы

Для снятия наклепа и уменьшения твердости медь подвергают отжигу. Для этого медь нагревают до 500—700° С и после прогрева охлаждают. Охлаждение можно производить с любой скоростью в печи, на воздухе и в воде, но при охлаждении в воде окалина более легко отделяется от поверхности медного изделия, а при охлаждении в печи или на воздухе удаляется с трудом.

После отжига примерные механические свойства чистой меди: $\sigma_в = 20$ *кГ/мм*², $\delta = 50\%$, *НВ* 35.

Условные обозначения элементов, принятые для маркировки медных сплавов, приведены ниже.

Алюминий	А
Бериллий	Б
Железо	Ж
Кремний	К
Магний	Мг
Марганец	Мц
Медь	М
Никель	Н
Олово	О
Свинец	С
Хром	Х
Цинк	Ц

Латуни (медноцинковые сплавы). Химический состав латуни расшифровывают по названию марки, а именно: буквенные обозначения указывают, какие элементы входят в латунь, а цифры определяют процентное содержание этих элементов. Буква Л обозначает латунь, последующие буквы обозначают элементы, входящие в состав латуни. Первая цифра обозначает процентное содержание меди, а остальные — содержание элементов в таком же порядке, в каком записаны элементы в обозначении марки. Количество цинка составляет разницу от 100%.

Примеры: 1. Л62 — латунь, меди — 62%, цинка 38%. 2. ЛЖМц 59-1-1 — латунь, меди — 59%, железа — 1%, марганца —1% и цинка — 39%.

Отжиг поковки, а также промежуточный отжиг латуни при обработке давлением производят в соответствии с табл. 124.

Бронзы. Сплавы меди с оловом— оловянные бронзы и сплавы меди с другими элементами —безоловянные (специальные) бронзы, главным образом алюминиевые.

Таблица 124

Ориентировочные режимы отжига и примерные механические свойства латуни

Марка латуни	Температура отжига в ° С	Примерные механические свойства		
		$\sigma_в$ в *кГ/мм²*	δ в %	*НВ*
Л 96	540—600	24	50	60
Л 90	650—720	26	45	53
Л 85	650—720	28	45	54
Л 80	600—700	32	52	53
Л 70	520—650	32	55	—
Л 68	520—650	32	55	52
Л 62	600—700	33	49	56
ЛА 85-0,5	650—700	30	60	54
ЛА 77-2	600—650	40	55	60
ЛАН 59-3-2	600—650	38	50	75
ЛН 65-5	600—650	40	65	65
ЛЖМц-59-1-1	600—650	45	50	88
ЛМц 58-2	600—650	40	40	85
ЛО 90-1	650—720	28	45	58
ЛО 70-1	560—580	35	60	—
ЛО 62-1	550—650	40	40	85
ЛО 60-1	550—650	38	40	85
ЛС 74-3	600—650	35	50	55
ЛС 64-2	620—670	35	55	50
ЛС 63-3	620—650	35	55	80
ЛС 60-1	600—650	37	45	—
ЛС 59-1	600—650	40	45	90

Примечание. 1. Охлаждение после отжига производят на воздухе или с печью. 2. Изделия и полуфабрикаты из латуни, даже весьма незначительно деформированные, при хранении во влажной атмосфере растрескиваются, и поэтому их необходимо подвергнуть отжигу по режиму: латуни двойные от Л96 до Л62 при температуре 250—300° С, латуни многокомпонентные при температуре 300—350° С. 3. Отливки из латуни, которые в процессе их обработки и эксплуатации должны иметь наименьшие деформации, отжигают при 300—350° С с выдержкой 2—4 *ч*.

Таблица 125

Режимы отжига и примерные механические свойства бронзы

Марка бронзы	Температура нагрева при отжиге в ° С	Примерные механические свойства		
		$\sigma_в$ в *кГ/мм²*	δ в %	*НВ*
Бр. ОФ 6,5-0,4	600—650	35—45	60—70	70—90
Бр. ОФ 4-0,25	600—650	34	52	55—70
Бр. ОЦ 4-3	600	35	40	60
Бр. ОЦС 4-4-2,5	600	30—35	35—45	60
Бр. А5	600—700	38	65	60

Продолжение табл. 125

Марка бронзы	Температура нагрева при отжиге в ° С	Примерные механические свойства		
		$\sigma_в$ в *кГ/мм²*	δ в %	*НВ*
Бр. А7	650—750	42	70	70
Бр. АЖ 9-4	700—750	60—64	40	110
Бр. АЖМц 10-3-1,5	650—750	60—64	27—30	120
Бр. АМц 9-2	650—750	55	45	107
Бр. АЖН 10-4-4	700—750	60	35	140—160
Бериллиевая	650—750	50	30	100
Бр. КМц 3-1	600—680	—	—	80
Бр. КН 1-3	650—750	45	12	—
Бр. Мц5	700—750	30	40	80
Литейная разных марок	600—650	—	—	—

Так же, как и в латунях, химический состав бронзы определяет название марки.

При термической обработке загрузка изделий может производиться в печь, нагретую до требуемой температуры. Охлаждать после отжига изделия можно с печью или на воздухе. Температуру отжига иазначают в зависимости от толщины материала. Для лент и проволоки малого сечения (до 0,5 *мм*) можно рекомендовать температуру на 10% ииже предлагаемой в табл. 125.

Пружинную бронзу, поставляемую в нагартованном состоянии, нельзя подвергать отжигу для облегчения загибки. В отдельных случаях для этой цели разрешается отпуск при 250—300° С.

Закалку бериллиевой бронзы следует производить в воде с температурой не выше 20° С, а время переноса изделия из печи в бак должно быть самым коротким. Нерезкая закалка ухудшает пружинные свойства этой бронзы.

Нагрев под закалку заготовок из бериллиевой бронзы лучше всего производить в атмосфере диссоциированного аммиака.

Нагрев в среде диссоциированного аммиака дает возможность выявить брак материала до изготовления изделия, так как водород аммиака, соединяясь с окислами, находящимися в металле, образует вздутия или пузыри на поверхности заготовки.

При нагреве в обычной камерной печи в атмосфере воздуха следует применять следующие меры.

1. Противень, на котором укладывают изделия, должен быть чистым, лучше всего из нержавеющей стали.

2. Изделия на противень укладывают равномерно, нагрев навалом ухудшает качество изделий.

Время выдержки нагретых изделий при 760—780° С должно быть равным 8—12 *мин*.

Облагораживание бериллиевой бронзы следует производить в воздушной печи, в соляной или масляной ванне. Время облагораживания примерно 2—3 *ч* (табл. 126).

Изделия, которые нежелательно подвергать травлению для снятия окисной пленки, образовывающейся при облагораживании, рекомен-

дуется облагораживать в кассетах (стр. 106), для чего обезжиренные, сухие изделия закладывают в просушенную кассету и нагревают в любой среде [44].

Таблица 126

Ориентировочный режим закалки и отпуска бронз

Марка бронзы	Закалка		Отпуск	
	Температура нагрева в ° С	Охлаждающая среда	Температура нагрева в ° С	Твердость *НВ*
Бр. АЖ 9-4	850	Вода	350	—
Бр. АМц 9-2	800	»	400	150—187
Бр. АЖМц 10-3-1,5	830—860	»	300—350	207—285
Бр. АЖН 10-4-4	980	»	400	до 400
Бр. Х0,5	950—1000	»	400*	—
Бр. НА 14-3	900	Воздух или вода	500	260
Бр. НА 6-1,5				210
Бр. Б2	760—780	Вода	310—330**	Не менее***
Бр. БНТ 1,7				320
Бр. БНТ 1,9				
Бр. КН 1-3	850	»	450	150—200

* Продолжительность отпуска 6 *ч*.
** Для мембран 290—310° С.
*** Твердость изделий из нагартованной бронзы после отпуска при 300° С не менее *НВ* 360 для Бр. Б2 и Бр. БНТ 1,9 и не менее *НВ* 340 для Бр. БНТ 1,7.

2. Никель и его сплавы

Никель подвергают отжигу. В зависимости от требований отжиг производят окислительный и безокислительный — светлый. Температура отжига никеля находится в пределах 750—900° С. В отожженном виде никель имеет $\sigma_в = 50$ *кГ/мм²*, $\delta = 40\%$, *НВ* 70—90.

Безокислительный отжиг никеля производят в атмосфере осушенного водорода, генераторного газа, диссоциированного аммиака и др. В случае отсутствия газовой защитной атмосферы безокислительный отжиг производят следующим образом: изделия или материал, подлежащий отжигу, закладывают в котлы или ящики (чугунные или стальные), добавляют небольшое количество древесного угля, закрывают крышками, швы тщательно обмазывают глиной с шамотом и загружают в печь. После окончания отжига пакеты не раскрывают до охлаждения.

При отжиге проволоки в бунтах во избежание слипания витков ее перед упаковкой погружают в раствор мела в воде и высушивают.

Сплавы никеля. Химический состав никелевых и медноникелевых сплавов также легко определить по марке сплава. Если в сплаве основным элементом является никель, то первая буква марки сплава будет Н, а если основным элементом является медь, первая буква марки сплава будет М. Последующие буквы и цифры определяют наименование элементов и процентное содержание их в сплаве.

Режимы отжига и примерные механические свойства никелевых и медноникелевых сплавов

Сплав	Марка сплава	Температура в ° С	Примерные механические свойства		
			$\sigma_в$ в *кГ/мм²*	δ в %	Твердость *НВ*
Никель марганцовистый	НМц 2,5	800—900	45—50	35—50	
Никель марганцовистый	НМц 5	800—850	Не более 75	Не менее 18	147
Монель	НМЖМц 28-2,5-1,5	800—850	45—50	Не менее 35	120—130
Хромель	НХ9,5 и НХ9	850—900	60—70	35—50	150—200
Алюмель	НМц АК 2-2-1	900—950	50—60	35—40	120—130
Мельхиор	МНЖМц 30-0,8-1	780—810	38—40	40—50	60—70
Мельхиор	МН 19	600—780	35—40	35	70
Неизильбер	МНЦ 15-20	700—750	38—45	35—45	70
Неизильбер свинцовый	МНЦС 17-18-1,8	750	40	40	82
Медноникелевый сплав	МН 5-1	650	24—28	—	38
Сплав ТП	МН 0,6	500	25—30	До 50	50—60
Сплав ТБ	МН 16	750—760	39	26	70
Копель	МНМц 43-0,5	800—850	40	35	85—90
Константан	МНМц 40-1,5	800—850	40—50	30	75—90
Манганин	МНМц 3-12	700—750	40—55	30	120
Нихром	Х20Н80	850—1000	40	50	—
Ферронихром	Х15Н60	750—850	64	28—30	160

Жаропрочные сплавы на никелевой, кобальтовой и смешанной основе

Тип	Марка	Химический состав в %									ТУ	Режим термической обработки
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Al	Fe	Прочие		
		не более										
Сплавы на никелевой основе												
Нимоник	ЭИ435 (ХН78Т)	0,12	0,8	0,7	19—23	⩾75	⩽0,4	⩽2,2	Остальное		ГОСТ 5632-61	Нагрев до 1150—1250°, выдержка 2 *ч*, охлаждение на воздухе
	ЭИ437 (ХН80Т)	0,08	1,0	0,5	19—23	Ост.	2—2,9	0,4—1,1	⩽2,5		То же	Нагрев до 1050—1100°, выдержка 8 *ч*, охлаждение на воздухе. Старение при 700°С—16 *ч*
Инконель	ЭИ607	0,07	1,0	1,0	15—17	Ост.	1,7—2,1	0,5—1,0	⩽3,0	Nb 1—1,5	ЧМТУ 4728-54	Нагрев до 1090—1110°, охлаждение в воде. Старение двойное: 1) нагрев 1000° С, выдержка 2 *ч*, охлаждение до 900° С, выдержка 1 *ч*, охлаждение до 800° С, выдержка 2 *ч* и выдача иа воздух;
	ЭИ607А	0,07	0,5	1,0	15—17	Ост.	1,4—1,7	0,5—1,0	⩽3,0	Nb 1—1,5		

Тип	Марка	Химический состав в %									ТУ	Режим термической обработки
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Al	Fe	Прочие		
		не более										
												2) нагрев до 750° С, выдержка 20 *ч*. Охлаждение до 650° С, выдержка 48 *ч* и выдача на воздух
						Сплавы на кобальтовой основе						
—	ЭИ416 (ВК36)	0,35—0,45	1,0	1,0	18—21	18—22	—	—	—	Co—45; Mo—4 N—4	—	Нагрев до 1175—1300° С, охлаждение в воде или масле+старение при 760° С 12—16 *ч*, охлаждение на воздухе
						Сплавы на смешанной хромоникелекобальтовой железной основе						
—	ЭИ673	0,13	0,5	1,0	19,5	20	—	—	—	Остальное Co—19; Mo—3,2 W—2,5; Nb—1,2	—	Нагрев до 1200—1250° С, охлаждение в воде и старение при 760—815° С

Примеры. 1. Сплавы никелевые. Алюмель НМцАК 2-2-1. В этом сплаве содержание марганца 2%, алюминия 2%, кремния 1%, а остальные 95% никеля и кобальта.

2. Сплавы медноникелевые. Копель МНМц 43-0,5. В этом сплаве среднее содержание никеля 43%, марганца 0,5%, а остальное медь.

Безокислительный отжиг никелевых и медноникелевых сплавов производят по такому же способу, как и никеля (табл. 127).

Медноникелевые сплавы куниаль «А» МНА 13-3 и куниаль «Б» МНА 6-0,5 упрочняют термической обработкой по следующему режиму: закалка с 900° С в воду и отпуск при 500° С в течение 2 *ч*. Механические свойства после этой обработки таковы:

	МНА 13-3	МНА 6-15
Временное сопротивление в *кГ/мм²*	90—95	65—75
Удлинение в %	5	7
Твердость *НВ*	260	210

Низкотемпературный отжиг никеля и его сплавов для снятия внутренних напряжений производят в интервале температур 250—300° С.

В табл. 128 приведен типовый химический состав, режимы термической обработки жаропрочных сплавов на никелевой и кобальтовой основе. Назначение никелевых и медноникелевых сплавов приведено в табл. 129.

Таблица 129

Назначение никелевых и медноникелевых сплавов

Сплав	Назначение
НМц 2,5	Для проволоки, которая идет на изготовление запальных свечей в двигателях внутреннего сгорания
НМц 5	Для деталей радиоламп и свечей в двигателях
НМЖМц 28-2,5-1,5	Для деталей, работающих в агрессивных средах
МНЖСМц 30-0,8-1	Для конденсаторных труб и других деталей судостроения
МН 19	Для размеиной монеты, медицинского инструмента, деталей точной механики и т. п.
МНц 15-20	Для деталей приборов точной механики, для электротехнических целей, телефонии, художественных изделий и т. п.
МНЦС 17-18-1,8	Для деталей часовых механизмов
МН 5-1	Для прутков и труб различных размеров
МН 0,6 МН 16	Для компенсационных проводов

Глава IX

МАГНИЙ, АЛЮМИНИЙ, ТИТАН И ИХ СПЛАВЫ, ЦИНК И СЕРЕБРО

1. Магний и его сплавы

Магний отжигают при 300—350° С, выдерживают 30 *мин*, охлаждают на воздухе. Твердость отожженного магния около *НВ* 40.

Магниевые сплавы. Магниевые сплавы как литейные, так и деформируемые (табл. 130) подвергают разным видам термической обработки, режимы которых указаны в табл. 131.

Ниже приведены условные обозначения, назначение и виды термической обработки, применяемые для магниевых сплавов.

Условное обозначение	Т2	Т4	Т6
Назначение	Снятие внутренних напряжений, снятие наклепа и повышение пластичности	Повышение механических свойств	Повышение предела текучести
Вид термической обработки	Отжиг	Закалка	Закалка и старение

Термическую обработку ведут в печах следующих типов: шахтных, вакуумных, камерных и ваннах (в смеси бихроматов калия и натрия).

Для защиты от окисления нагрев изделий рекомендуется вести в защитной газовой атмосфере, состоящей из смеси воздуха с 0,7—1% сернистого газа. При отсутствии сернистого газа защитную атмосферу создают путем заброса в печь сернистого колчедана из расчета 3—4 *кГ* сернистого колчедана на 0,7—1 *Т* веса изделий.

Точность автоматического регулирования температуры печей должна быть обеспечена в пределах $\pm$ 5° С.

В табл. 132 приведены виды брака.

2. Алюминий и его сплавы

Алюминий. Термическая обработка алюминия заключается в отжиге при температуре 370—400° С с охлаждением на воздухе. После отжига $\sigma_в = 8 \div 10$ *кГ/мм²*, $\delta = 40 \div 45\%$, *НВ* 20.

В случае, когда требуется только снять напряжения, алюминий подвергают отжигу при 150° С.

Различают два типа сплавов алюминия: деформируемые и литейные.

Деформируемые алюминиевые сплавы разделяют на две группы: 1) сплавы, термически не упрочняемые, и 2) сплавы, термически упрочняемые.

Сплавы алюминиевые деформируемые (табл. 133). Превышение верхнего предела закалочных температур (табл. 134, 135) может привести к пережогу, характерными признаками которого является резкое потемнение поверхности, появление пузырей и трещин.

Химический состав магниевых сплавов

Марка сплава	Состав элементов в %							Редкоземельные элементы	ГОСТ или ТУ
	Mg	Mn	Al	Zn	Zr	Ca	Ce		
Литейные сплавы									
МЛ-2	Остальное	1,0—2,0	—	—	—	—	—	—	ГОСТ 2856-55
МЛ-3		0,15—0,5	2,5—3,5	0,5—1,5	—	—	—	—	То же
МЛ-4		0,15—0,5	5,0—7,0	2,0—3,0	—	—	—	—	»
МЛ-5		0,15—0,5	7,5—9,0	0,2—0,8	—	—	—	—	»
МЛ-6		0,1—0,5	9,0—10,2	0,6—1,2	—	—	—	—	»
МЛ-7-1		0,3—0,6	5,0—6,5	0,3—0,7	—	0,2—0,5	—	—	АМТУ 337-53
МЛ-11		—	—	0,2—0,7	0,2—0,8	—	—	2,5—4,0	АМТУ 393-57
Деформируемые сплавы									
МА-1		1,3—2,5	—	—	—	—	—	—	АМТУ 371-56
МА-2		0,15—0,5	3,0—4,0	0,2—0,8	—	—	—	—	То же
МА-3		0,15—0,5	5,5—7,0	0,5—1,5	—	—	—	—	»
МА-5		0,15—0,5	7,8—9,2	0,2—0,8	—	—	—	—	»
МА-8		1,5—2,5	—	—	—	—	0,15—0,35	—	»
ВМ65-1		—	—	4,0—5,5	0,3—0,9	—	—	—	»

Таблица 131

Рекомендуемые режимы термической обработки магниевых сплавов в электропечах с воздушной средой и ориентировочные механические свойства

(в основном наименьшие)

Мврка сплава	Условное обозначение термической обработки	Отжиг и закалка			Старение			Механические свойства		
		Температура нагрева в °С	Выдержка в *ч*	Охлаждающая среда	Температура нагрева в °С	Выдержка в *ч*	Охлаждающая среда	$\sigma_в$ в *кГ/мм²*	δ в % не менее	Твердость *НВ*
Литейные сплавы										
МЛ-2	Т2	300—340	3—5	С печью	—	—	—	9	3	30
МЛ-3	Т2	300—340	3—5	»	—	—	—	16	6	40
МЛ-4	Т2	280—320	3—5	»	—	—	—	16	3	50
	Т4	375—385	8—16	Воздух	—	—	—	21	4	55
	Т6	375—385	8—16	»	170—180	16	Воздух	22	2	60
МЛ-5	Т2	320—350	2—3	»	—	—	—	15	2	50
	Т4	410—420	8—16	»	—	—	—	21	4	50
	Т6	410—420	8—16	»	170—180	16	Воздух	22	2	60
					или					
					195—205	8	»			
МЛ-6	Т2	170—250	3—5	С печью	—	—	—	15	1	50
	Т4	405—415	24—32	Воздух	—	—	—	25	5	60
	Т6	405—415	24—32	»	185—195	4—8	Воздух	26	1	80
МЛ-7-1	Т2	325	3	Воздух						
МЛ-11	Т6	570	18	»	205	16	»	—	—	—

Продолжение табл. 131

Марка стали	Условное обозначение термической обработки	Отжиг и закалка			Старение			Механические свойства		
		Температура нагрева в ° С	Выдержка в *ч*	Охлаждающая среда	Температура нагрева в ° С	Выдержка в *ч*	Охлаждающая среда	$\sigma_в$ в *кГ/мм²*	δ в %, не менее	Твердость *НВ*
Деформируемые сплавы										
МА-1	Т2	230—250*	0,5	Воздух	—	—	—	26	10	—
	Т2	300—350	0,5	»	—	—	—	19	3	—
МА-2	Т2	До 400	3—5	Воздух	—	—	—	24	5	45
МА-3	Т2	320—380	4—8	»	—	—	—	26	8	50
МА-4	Т2	320—350	4—6	»	—	—	—	34	7	70
	Т4									
Ступенчатая обработка										
		330—340	2—3							
		375—385	4—10	Горячая вода	—	—	—	35	7	80
МА-5	Т2	350—380	3—6	Воздух	—	—	—	—	—	—
	Т4	410—425	2—6	Горячая вода	—	—	—	34	15	64
	Т6	410—425	4	То же	170—200	8—16	Воздух			
МА-8	Т2	300—350	0,5	Воздух	—	—	—	23	14	55
	Т2	230—250*	0,5	»	—	—	—	27	10	—
ВМ 65-1	Т2	230—250	0,5	»					12	—
	Т2	300—350*	0,5	»	—	—	—	22		
	Т6	—	—	—	170	10	—	32	6	—

Примечания: 1. Нагрев под закалку во избежание оплавления легкоплавкой составляющей рекомендуется производить ступенчатым: сначала до 330—340° С и после прогрева—до требуемой температуры. 2. Для отливок МЛ5 с толщиной стенки свыше 12 *мм* время выдержки 16—24 *ч*. 3. Температуры, отмеченные звездочками, предназначены для получения более высоких значений прочности.

Виды брака при термической обработке магниевых сплавов и меры его предупреждения

Вид брака	Внешний вид	Способ определения	Условия образования	Меры предупреждения и исправление
Низкие механические свойства	—	Испытание механических свойств Просмотр микроструктуры	Низкая температура нагрева при закалке или недостаточная продолжительность выдержки	Контроль работы печи. Исправление повторной термообработкой при строгом соблюдении режима
Местное оплавление	Выделения на поверхности сильно окисливщихся металлических корольков	Внешний просмотр	Грубая литая структура Быстрый подъем температуры при закалке	Нагрев с предварительным подогревом Проверка пирометров, обслуживающих печь
	Мелкие раковины на поверхности и микропустоты во внутренних частях изделия	Просмотр микроструктуры	Неравномериая температура в печи	Понижение температуры, термообработки на 5—10° С
Окисление при нагреве	Порошок на поверхности изделия от серого до черного цвета. После обдувки песком на поверхности остаются мелкие раковины	Внешний осмотр	Перегрев или неравномерная температура в печи Подсос воздуха Попадание паров воды в печь	Те же, что и при оплавлении, а также создание защитной атмосферы
Рост зерна в литых сплавах в процессе термообработки	Светлые пятна на механически обработанной поверхности до и после оксидирования	То же	В процессе литья	Предварительный, перед закалкой, нагрев до 300° С, в течение 1—2 *ч* для снятия внутренних напряжений

Химический состав алюминиевых деформируемых сплавов

(ГОСТ 4784-49 и АМТУ)

Марка сплава	Состав элементов в %								
	Cu	Mg	Mn	Ni	Fe	Si	Zn	Cr	Al
АД	—	—	—	—	—	—	—	—	99,8
АД1	—	—	—	—	—	—	—	—	99,8
АМЦ	—	—	1,0—1,6	—	—	—	—	—	
АМг	—	2,0—2,8	0,15—0,4	—	—	—	—	—	
АМг3	—	3,2—3,8	0,3—0,6	—	—	0,5—0,8	—	—	
АМг5	—	4,0—5,5	0,3—0,6	—	—	—	—	—	
АМг6	—	5,8—6,8	0,5—0,8	Ti 0,02—0,1	—	—	—	—	
Д1	3,8—4,8	0,4—0,8	0,4—0,8	—	—	0,5—0,8	—	—	Остальное
Д6	4,6—5,2	0,65—1,0	0,5—1,0	—	—	—	—	—	
Д7	3,0—4,0	0,25—0,5	0,25—0,5	—	—	—	—	—	
Д16	3,8—4,9	1,2—1,8	0,3—0,9	—	—	—	—	—	
Д1П	3,8—4,5	0,4—0,8	0,4—0,8	—	—	—	—	—	
Д3П	2,6—3,5	0,3—0,7	0,3—0,7	—	—	—	—	—	
Д16П	3,8—4,5	1,2—1,6	0,3—0,7	—	—	—	—	—	

Марка сплава	Состав элементов в %								
	Cu	Mg	Mn	Ni	Fe	Si	Zn	Cr	Al
Д18П	2,2—3,0	0,2—0,5	—	—	—	—	—	—	Остальное
В65	3,9—4,5	0,15—0,3	0,3—0,5	—	—	—	—	—	
ВД17	2,6—3,2	2,0—2,4	0,45—0,7	—	—	—	—	—	
Д20	6,0—7,0	—	0,6—0,8	Ti 0,1—0,2	—	—	—	—	
Д21	6,0—7,0	0,25—0,45	0,4—0,8	Ti 0,1—0,2	—	—	—	—	
АВ	0,2—0,6	0,45—0,9	0,15—0,35	—	—	—	—	—	
АК	—	—	—	—	—	4,5—6,0	—	—	
АК2	3,5—4,5	0,4—0,8	—	1,8—2,3	0,5—1,0	0,5—1,0	—	—	
АК4	1,9—2,5	1,4—1,8	—	1,0—1,5	1,1—1,6	0,5—1,2	—	—	
АК4-1	1,9—2,5	1,4—1,8	—	1,0—1,5	1,1—1,6	—	Ti 0,02—0,1	—	
АК6	1,8—2,6	0,4—0,8	0,4—0,8	—	—	0,7—1,2	—	—	
АК8	3,9—4,8	0,4—0,8	0,4—1,0	—	—	0,6—1,2	—	—	
АЛД	—	0,5—0,9	—	—	0,2—0,5	0,8—1,0	—	—	
Д12	—	0,8—1,3	0,9—1,4	—	—	—	—	—	
В94	1,8—2,4	1,2—1,6	—	Ti 0,02—0,08	—	—	6,0—6,7	—	
В95	1,4—2,0	1,8—2,8	0,2—0,6	—	—	—	5,0—7,0	0,1—0,25	
В95-1	0,3—1,0	1,2—2,0	0,3—0,8	—	—	—	7,0—8,0	—	

Примечание. В сплавах АМГ и АВ марганец может быть заменен хромом в том же количестве.

Таблица 134

Режимы термической обработки и типичные механические свойства деформируемых алюминиевых сплавов

Марка сплава	Отжиг		Закалка		Старение		Механические свойства		
	Температура нагрева в °С	Охлаждающая среда	Температура нагрева в °С	Охлаждающая среда	Температура нагрева в °С	Время выдержки в *ч*	$\sigma_в$ в *кГ/мм²*	δ в %	*НВ*
АД	350—420	Воздух	—	—	—	—	11	25	27
АД1			—				11	25	27
АМц			—				13	23	30
АМг							20	23	45
АМг3							20	22	50
АМг5	310—335	Воздух	—	—	—	—	26	22	65
АМг6							—	—	—
Д1	340—370	Воздух	—	—	—	—	21	18	45
	—	—	495—510	Вода	15—40	96	42	15	113
Д6	340—370	Воздух	497—503	»	15—40	96	22	15	50
	—	—					46	15	105
Д16	340—370	Воздух	495—505	»	15—40	96	21	18	42
	—	—					46—52	18—10	105—131
Д1П	340—370	Воздух	495—510	»	15—40	96	21	18	45
	—	—					42	15	113
Д3П	340—370	Воздух	495—505	»	15—40	96	17	20	
	—	—					34	20	80

Продолжение табл. 134

Марка сплава	Отжиг		Закалка		Старение		Механические свойства		
	Температура нагрева в ° С	Охлаждающая среда	Температура нагрева в ° С	Охлаждающая среда	Температура нагрева в ° С	Время выдержки в *ч*	$\sigma_в$ в *кГ/мм²*	δ в %	*НВ*
Д16П	340—370 —	Воздух —	490—500	Вода	15—40	96	21 40—52	18 18—10	42 131—105
Д18П	340—370 —	Воздух —	495—505	»	15—40	96	16 30	24 24	38 70
В65			510—520	»	70—80	24	40	20	—
ВД17	350—460 —	Воздух —	495—503	»	165—175	16	— 49	— 20	— 115
Д20	350—420 —	Воздух —	530—540	»	160—170	10—16	40	13	110
Д21	350—420 —	Воздух —	520—530	»	180—190	12—16	—	—	—
АВ	340—370 —	Воздух —	510—530	»	150—165	12—15	18 33	30 16	30 95
АК	Не подвергается								

Продолжение табл. 134

Маркв сплава	Отжиг		Закалка		Старение		Механические свойства		
	Температура нагрева в ° С	Охлаждающая среда	Температура нагрева в ° С	Охлаждающая среда	Температура нагрева в ° С	Время выдержки в *ч*	$\sigma_в$ в *кГ/мм²*	δ в %	*НВ*
АК2	350—400 —	Воздух —	510—520	Вода	165—175	15—18	— 42	— 13	— 115
АК4	350—400 —	Воздух —	510—520	»	165—175	16	44	10	120
АК4-1	350—400 —	Воздух —	525—540	»	180—190	10	— 44	— 12	— 120
АК6	350—400 —	Воздух —	505—520	»	150—165	—	— 42	— 13	— 105
АК8	350—400 —	Воздух —	498—508	»	150—165	—	— 49	— 12	— 135
В94	250—350 —	Воздух —	460—470	»	160—170	3	— —	— —	— —
В95	360—390 —	Воздух —	465—475	»	135—145	16	22 55	15 10	— 150

Примечания. 1. Полный отжиг упрочняемых сплавов производят по режиму—нагрев до 380—430° С, выдержка 10—60 *мин* охлаждение с печью до 200° С (для В95 до 150° С) и выдача на воздух. 2. Неупрочняемые сплавы в состоянии нагартовки подвергают также низкотемпературному отжигу при 150—300° С с целью повышения пластичности и сохранения *полунагартованного состояния.*

Таблица 135

Примерная продолжительность нагрева при закалке алюминиевых деформируемых сплавов в *мин*

Оборудование для нагрева	Толщина или диаметр материала в *мм*									
	До 0,8	0,8—2.5	2,5—5,0	5—12	12—20	20—50	60	70	80	90
Селитровая ванна	8	10	12	15	30	40—60	60	70	80	90
Воздушная электропечь	12	20—30	40	80	90	110	130	130	180	180

Примечания. 1. Время выдержки считают с того мемента, когда печь после загрузки достигла требуемой температуры. 2. Выдержку считают по наибольшему сечению изделия. 3. Излишняя выдержка плакированных сплавов вредно отражается на свойствах плакированного слоя. 4. В случае повторной закалки время нагрева следует сократить вдвое.

Температура воды при закалке не менее 30° С. С увеличением объема изделий и усложнением их конфигурации рекомендуется повышать температуру воды, доводя ее до 70—80° С. Повышение температуры воды уменьшает трещинообразование и коробление. Для уменьшения напряжения применяют также закалку в масло, глицерин и другие жидкости. Высокие механические свойства при наименьших термических напряжениях получают при изотермической закалке в жидкую среду при 200—250° С с выдержкой в течение нескольких часов.

Промежуток времени между выемкой из печи и погружением в воду должен быть не более 20—30 *сек.*

Изделия, нагревавшиеся в селитровой ванне, после закалки следует хорошо промыть и протереть тряпками. После закалки алюминиевые сплавы несколько упрочняются, но все же остаются настолько пластичными, что допускают возможность деформирования изделия.

Через некоторый промежуток времени сплав начинает стареть. Промежуток времени между закалкой и началом старения приведен ниже.

Марка сплава	Д1	Д6	Д16	АК4	АК4-1	АВ	АК6	АК8	В95
Время в *ч*	2—3	1,5	1,5	2—3	2—3	2—3	2—3	2—3	6

Свежезакаленное состояние изделий можно сохранять, выдерживая их после закалки при температуре от 0 до — 20°С.

Закаленный и состаренный дюралюминий можно привести в свежезакаленное состояние путем кратковременного нагрева (1,0—5,0 *мин*) при температуре 200—230° С. После проведенной операции (штамповка и пр.) сплав вновь стареет.

Примерное назначение алюминиевых сплавов, обрабатываемых давлением, приведены в табл. 136.

Алюминиевые литейные сплавы. Алюминиевые литейные сплавы (табл. 137) в зависимости от требований подвергают термической обработке, условные обозначения которой и назначение представлены в табл. 138 и 139. При обработке алюминиевых, а также магниевых сплавов в печах с воздушной средой для обеспечения равномерности нагрева следует применять печи с принудительным перемешиванием атмосферы печи (типа ПН-31 и др.).

Таблица 136

Примерные назначения алюминиевых сплавов, обрабатываемых давлением

Марка сплава	Назначение
АД, АД1	Детали, не несущие нагрузки, с высокими пластическими свойствами
АМц АМг АМг5 АМг7	Сварные детали, трубопроводы, емкости для жидкостей и другие детали разной нагруженности
Д1 Д1П	Детали средней прочности, штампованные узлы, крепления, заклепки
Д6 Д16 Д16П В95	Несущие, сильнонагруженные детали
Д3П Д18П В65 В94	Заклепки
АВ АК6 АК8	Детали средне- и сильнонагруженные, изготовляемые горячей обработкой давлением
АК	Присадочный материал для заварки дефектных мест отливок из алюминиевых сплавов
АК2 АК4 АК4-1 Д20 Д21 ВД17	Детали, работающие при повышенных температурах, хорошо обрабатываются давлением в горячем состоянии

Примечание. Марки сплавов в каждой группе помещены в порядке возрастания свойств.

Таблица 137

Химический состав алюминиевых литейных сплавов (по ГОСТ 2685-53 и ведомственным нормалям)

Марка сплава	Состав элементов в %					
	Si	Cu	Mg	Mn	Прочие элементы	Al
АЛ1	—	3,75—4,5	1,25—1,75	—	Ni 1,75—2,25	Остальное
АЛ2	10,0—13,0	—	—	—	—	
АЛ3	4,0—6,0	1,5—3,5	0,2—0,8	0,2—0,8	—	
АЛ4	8,0—10,5	—	0,17—0,30	0,25—0,5	—	
АЛ5	4,5—5,5	1,0—1,5	0,35—0,6	—	—	
АЛ6	4,5—6,0	2,0—3,0	—	—	—	
АЛ7	—	4,0—5,0	—	—	—	
АЛ8	—	—	9,5—11,5	—	—	
АЛ9	6,0—8,0	—	0,2—0,4	—	—	
АЛ10В	4,0—6,0	5,0—8,0	0,2—0,5	—	—	
АЛ11	6,0—8,0	—	0,1—0,3	—	Zn 10,0—14,0	
АЛ12	—	9,0—11,0	—	—	—	
АЛ13	0,8—1,3	—	4,5—5,5	0,1—0,4	—	
АЛ14В	6,0—8,0	1,5—3,0	0,2—0,6	0,2—0,6	—	
АЛ15В	3,0—5,0	3,5—5,0	—	0,2—0,6	—	
АЛ16В	3,0—5,0	2,0—4,0	—	0,2—0,5	Zn 2,0—4,0	
АЛ17В	3,0—5,0	1,5—3,5	—	0,2—0,6	Zn 4,0—7,0	
АЛ18В	1,5—2,5	7,5—9,5	—	0,3—0,8	Fe 1,0—1,8	
ВИ-11-3	0,8—1,5	—	10,5—13,0	—	Be 0,07 Ti 0,07	
АЛ-19	—	4,5—5,3	—	0,6—1,0	Ti 0,25—0,45	
В300	—	4,6—6,0	0,8—1,5	0,18—0,3	Ni 2,6—3,6 Cr 0,1—0,25	
В14А	1,5—2,0	3,5—4,5	0,7—1,2	0,15—0,3	Fe 1,2—1,7 Cr 0,15—0,25 Ti 0,05—0,1	
В15	—	0,3—0,6	1,4—1,75	0,2—0,3	Zn 3,5—4,5	

Примечание. Буква В в конце марки сплава указывает, что отливки изготовляют из литейных алюминиевых сплавов в чушках.

Таблица 138

Условные обозначения, виды и назначения термической обработки алюминиевых литейных сплавов

Условные обозначении	Вид	Назначение
Т1	Старение при температуре до 200°С	Для деталей небольшой нагруженности, быстро охлажденных при отливке

Продолжение табл. 138

Условные обозначения	Вид	Назначение
Т2	Отжиг при температуре до 300°С	Стабилизация размеров изделий и снятие напряжений
Т4	Закалка	Повышение пластичности
Т5	Закалка и частичное старение	Увеличение прочности и предела текучести
Т6	Закалка и полное старение до максимальной твердости	Достижение наибольшей прочности и предела текучести
Т7	Закалка и стабилизирующий отпуск при температуре свыше 200°С	Для деталей, работающих при повышенных температурах
Т8	Закалка и смягчающий отпуск при температуре свыше 300°С	Для мелких деталей, требующих повышенной пластичности при высоком содержании в сплаве магния

Алюминиевые литейные сплавы (табл. 140) с высоким содержанием магния из-за опасности возгорания следует нагревать под закалку в воздушных печах, а не в селитровых ваннах. Период между выемкой из печи и охлаждением должен быть наименьшим. Чем сложнее изделия, тем выше следует применять температуру охлаждающей среды.

3. Титан и его сплавы

При небольшом удельном весе (4,5) титан обладает высокими характеристиками прочности и пластичности: $\sigma_в = 45 \div 60$ *кГ/мм²*, $\delta = 25\%$ (табл. 141).

Технический титан ВТ1 и его сплавы при холодном деформировании (штамповка и пр.) сильно наклепываются и для возвращения пластичности их отжигают в воздушной атмосфере или в вакууме. Температура отжига технического титана 510—570° С, а сплавов титана 650—750° С (табл. 142).

Готовые изделия и листы отжигают при более низкой температуре и меньших выдержках, чем полуфабрикаты и массивные изделия. Длительные выдержки, в особенности при высоких температурах, приводят к образованию окалины и появлению хрупкости.

4. Цинк

Цинк отжигают при 50—100° С. После отжига $\sigma_в = 7 \div 10$ *кГ/мм²*, $\delta = 10 \div 20\%$.

5. Серебро

Серебро и сплав серебра с платиной отжигают при 650—700° С с охлаждением в воде.

Таблица 139

Рекомендуемые режимы термической обработки алюминиевых литейных сплавов для печей с воздушной средой и механические свойства

Марка сплава	Условное обозначение термообработки	Закалка			Отжиг, отпуск и старение			Механические свойства		
		Температура нагрева в °С	Выдержка в *ч*	Охлаждающая среда	Температура нагрева в °С	Выдержка в *ч*	Охлаждающая среда	$\sigma_в$ в *кГ/мм²*	$\delta_в$ в %	Твердость *НВ*
АЛ1	Т1	—	—	—	168—174	40—48		20*	0,5	95
	Т2	—	—	—	340—345	2—4		19	1,0	70
	Т5	510—520	2—4	Кипящая вода	210—230	2—4		26	0,5	100
	Т8	515—525	6	Воздух	340—345	1—3		22	1,2	90
АЛ2	Т2	—	—	—	250—300	2—4	Печь до 80°С,	15	4	50
АЛ3	Т1	—	—	—	175—185	5	затем воздух	17*	1	70
	Т2	—	—	—	280—300	2—4		12*		65
	Т5	520—530	4—6	Вода при 50—100°С	175—185	4—6		21*		75
	Т7	520—530	4—6	То же	225—235	4—6		20*	1	70
	Т8	495—505	5—6	»	325—335	5—6		18*	2	65
АЛ4	Т1	—	—	—	170—180	5—15		18	2	65
	Т6	530—540	2—6	Вода при 50—100°С	170—180	5—15		23*	3	70
АЛ5	Т1	—	—	—	175—185	5—15		16*	1	65
	Т2	—	—	—	225—230	7—9		—	—	—
	Т5	520—530	5—8	Вода при 50—100°С	150—160	5—8		23	2	80
	Т6	520—530	5—8	То же	170—180	10—15		20*	0,5	70
	Т7	520—530	5—8	»	225—235	3—8		18*	1	65
АЛ6	Т2	—	—	—	280—300	3—5		15	1	45
	Т5	500—505	8—12		150—165	2—5		24	4	80
АЛ7	Т4	520—530	10—15	Вода при 50—100°С	—	—		20*	6	60
	Т5	520—530	10—15	То же	145—155	3—5		22*	3	70
АЛ8	Т4	430—440	8—12	»				28*	9	60
АЛ9	Т1	—	—	—	225—230	7—9		17	2	60

Продолжение табл. 139

Марка сплава	Условное обозначение термообработки	Закалка			Отжиг, отпуск и старение			Механические свойства		
		Температура нагрева в °С	Выдержка в *ч*	Охлаждающая среда	Температура нагрева в °С	Выдержка в *ч*	Охлаждающая среда	$\sigma_в$ в *кГ/мм²*	$\delta_в$ в %	Твердость *НВ*
	Т4	530—540	4—10	Вода при 50—100°С				18*	4	50
	Т5	530—540	4—10	То же	150—160	3—5		20*	2	60
	Т6	530—540	4—10	»	220—230	2—4		24	2	75
	Т7	530—540	4—10	»	240—250	2—4		19	4,5	60
АЛ10В	Т1	—	—	—	205—215	5—6		18	0,5	100
	Т6	475—485	5	Вода при 50—100°С	205—215	5—6		18	0,5	105
АЛ11	Т2	—	—	—	280—300	2—3		22	2	80
АЛ12	Т2	—	—	—	250—275	2—3		18	1,5	75
	Т6	505—515	12	Вода при 70—100°С	150—160	10—14		17*	—	100
АЛ13	Т2	—	—	—	280—300	2—3		17	3	65
АЛ14В	Т1	—	—	—	225—235	8		21	1,5	—
	Т5	510—520	5—12	Вода при 80—100°С	145—155	3		20*	0,5	85
	Т7	510—520	5—12	То же	225—235	8		24	1,5	—
АЛ15В	Т5	495—505	5	Вода при 50—100°С	145—155	2—3		20*	—	80
АЛ16В	Т5	495—505	5	То же	175—185	5—6		20*	—	70
АЛ17В	Т5	495—505	5	»	175—185	5—6		20*	—	75
АЛ18В		Не применяется								
АЛ19	Т4	540—550	10—14	Вода при 60—80°С	165—175	6—3		32	9	90
	Т5	540—550	10—14	То же	165—175	6—3		37	5	100
ВИ13-3	Т4	420—430	8—20	Вода при 50—100°С	—	—		24	3	95
В300	Т2	—	—	—	300	5—10		21	0,8	—
	Т7	525	5—10	Вода при 80—100°С	300	3—5		24	0,8	—
В14А	Т2	—	—	—	250	10		17	0,8	—
	Т7	510—520	3—5	Вода при 80—100°С	250	10		21	0,8	—

Примечания. 1. Для режимов, не отмеченных звездочкой, приведены типичные механические свойства. 2. Для режимов, отмеченных звездочкой, приведены минимальные механические свойства согласно ГОСТ 2685-53. 3. Механические свойства указаны для сплавов, отлитых в землю, прочностные свойства для отливок в кокиль более высокие. 4. Изделия сложной формы при нагреве в соляных ваннах рекомендуется подогревать. 5. Сплав В-300 следует нагревать медленно с промежуточной выдержкой при 500°С в течение 2 *ч*.

Таблица 140

Примерные назначеиия литейных алюминиевых сплавов

Марка сплава	Назначение	Нанвысшая рабочая температура в °С
АЛ1	Поршни и головки двигателей внутреннего сгорания	275
АЛ2	Тонкостенные детали сложной конструкции с повышенной герметичностью. Не применяется для деталей, несущих высокие статические нагрузки	200
АЛ3	Детали, не несущие значительных нагрузок: корпуса приборов и т. п.	225
АЛ4	Крупные, сложные по конфигурации детали высокой нагруженности, картеры и блоки	200
АЛ5	Крупные, высоко нагруженные детали: блоки, головки цилиндров, детали приборов	225
АЛ6	Небольшие и средние детали, несущие невысокую статическую нагрузку, требующие надежной герметичности: детали карбюраторов и т. п.	225
АЛ7	Небольшие детали, несущие высокую статическую и ударную нагрузку	200
АЛ8	Детали, несущие высокие вибрационные нагрузки. Детали, требующие высокую коррозионную стойкость в морской воде	150
АЛ9	Тонкостенные и сложные детали средней нагруженности: детали карбюраторов, корпуса помп	175
АЛ10В	Детали, работающие при повышенных температурах: поршни и т. п.	275
АЛ11	Крупные сложной конфигурации детали, несущие высокие статические нагрузки	200
АЛ12	Небольшие малонагруженные детали: поршни и другие детали маломощных двигателей	250
АЛ13	Средненагруженные детали, работающие в условиях морской атмосферы	225
АЛ14В	Автомобильные поршни и другие мелкие детали	225
АЛ15В	Изделия широкого потребления. Детали машин и приборов	
АЛ16В	То же	225
АЛ17В	»	225
АЛ18В	Антифрикционный сплав	300
АЛ19	То же	300
ВИ-11-3	Детали, работающие в суровых атмосферных и морских условиях	225
В14А	Детали, работающие при повышенных температурах	275
В300	То же	350

Химический состав титановых сплавов
(АМТУ 388-57)

Марка сплава	Состав элементов в %						Примеси в процентах					
	Al	Cr	Mo	Mn	V	Ti	Fe	Si	C	N	O	H
ВТ3	4—6,2	2—3	—	—	—	—	0,8	0,4	0,1	0,05	0,2	0,015
ВТ3-1	4—6,2	1,5—2,5	1—2,8	—	—		0,8	0,4	0,1	0,05	0,2	0,015
ВТ4	4—5	—	—	1—2	—		0,3	0,15	0,05	0,05	0,15	0,015
ОТ4	2—3,5	—	—	1—2	—		0,4	0,15	0,1	0,05	0,15	0,015
ОТ4-1	1—2,5	—	—	0,8—2,0	—		0,4	0,15	0,1	0,05	0,15	0,015
ВТ5	4—5,5	—	—	—	—		0,3	0,15	0,05	0,04	0,15	0,015
ВТ5-1	4—5,5	—	—	2—3	—		0,3	0,1	0,1	0,05	0,2	0,01
ВТ6	5—6,5	—	—	—	3,5—4,5		0,3	0,15	0,05	0,04	0,15	0,015
ВТ8	5,8—6,8	—	2,8—3,8	—	—		0,4	0,35	0,1	0,05	0,2	0,01

Остальное

Таблица 142

Механические и физические свойства сплавов титана

Свойства	ВТ3	ВТ3-1	ВТ4	ОТ4	ВТ5	ВТ6	ВТ8
Временное сопротивление в *кГ/мм²*	95—115	95—120	80—90	70—85	80—95	90—100	105—118
Предел текучести в *кГ/мм²*	85—105	85—110	70—80	55—65	70—85	80—90	95—110
Предел пропорциональности в *кГ/мм²*	70—80	70—85	50—60	—	65—80	70—80	75—85
Относительное удлинение в %	10—16	10—16	15—22	15—40	12—25	8—13	9—15
Относительное сужение в %	25—40	25—40	20—30	25—55	30—45	30—45	30—55
Ударная вязкость в *кГ/см²*	3—6	3—6	—	3,5—6,5	3—6	4—8	3—6
Твердость	27—36*	27—36*	—	60—70**	—	320—360***	310—350***
Модуль упругости в *кГ/мм²*	11000	11500	11000—12000	11000—12000	10400	11300	11000
Модуль сдвига в *кГ/мм²*	4250	4300	4200	4000	4250	—	4250
Коэффициент Пауссона	0,3	0,3	0,31	—	0,3	—	0,3
Предел прочности при срезе в *кГ/мм²*	65—70	$\geqslant 65$	—	—	65	—	65—70
Плотность	4,46	4,5	4,6	4,55	4,5	4,43	4,47
Электрическое сопротивление в *ом·мм²/м*	1,58	1,36	—	—	1,08	1,6	1,61
Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$	8,4	8,6	8,5	—	8,0	8,41	8,4
Теплопроводность в *кал/см·сек·град.*	0,017	0,019	0,02—0,03	0,02	0,018	0,018	0,017

* Твердость по Роквелу, шкала С.
** Твердость по Роквелу, шкала В.
*** Твердость по Бринелю.

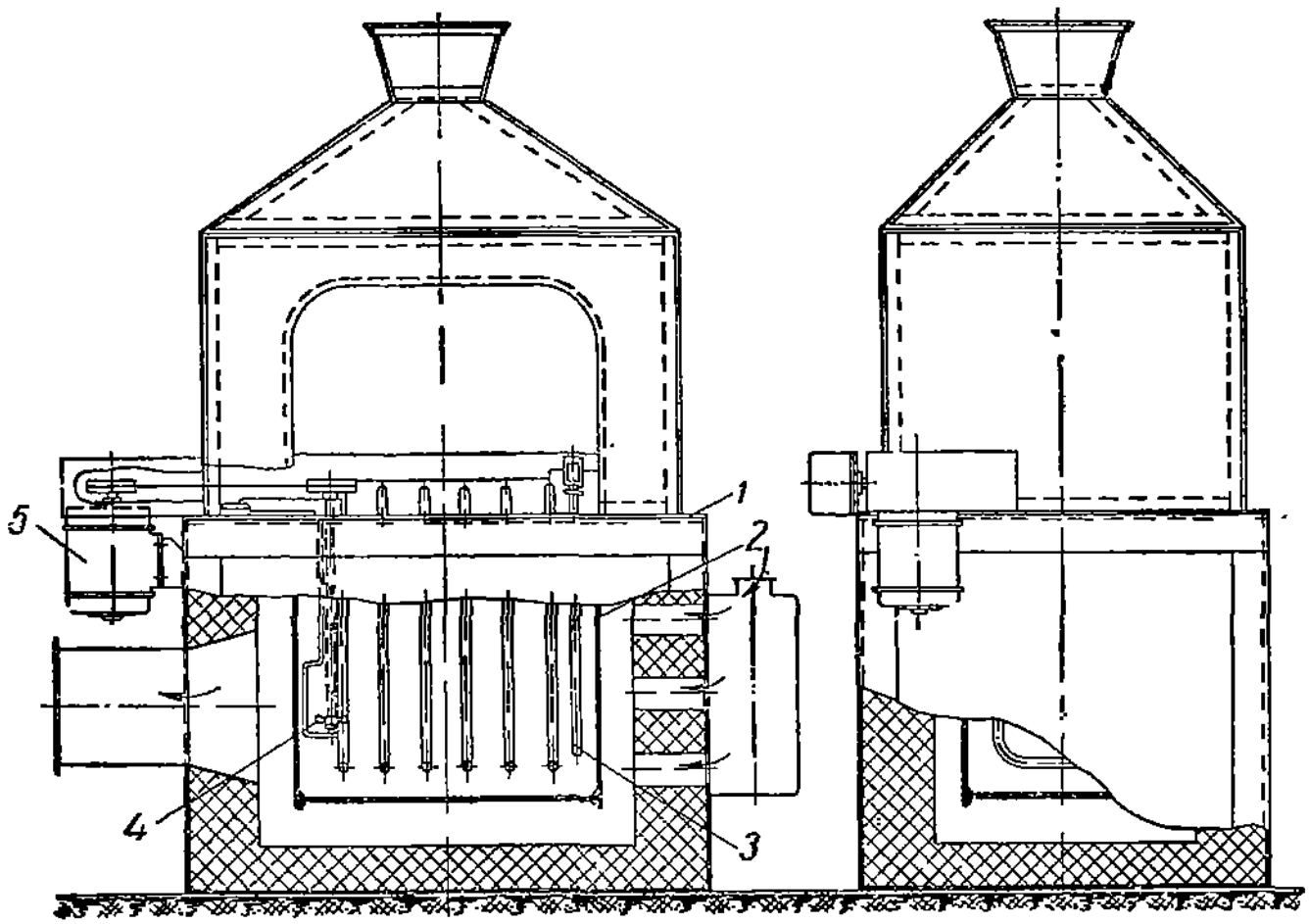
Глава X

ОБОРУДОВАНИЕ, ТОПЛИВО И МАТЕРИАЛЫ

1. Оборудование

В табл. 143—148 приведена техническая характеристика оборудования термических цехов.

Охлаждение изделий при изотермической закалке автор предлагает производить в печи-ванне, конструктивно обеспечивающей постоянство температуры во время работы за счет искусственного охлаждения



Фнг. 36. Печь-ваиия для нагрева охлаждающей среды:
1 — кожух; *2* — тигель; *3* — нагреватели ТЭН; *4* — крыльчатка вентилятора; *5* — мотор вентилятора.

тигля просасыванием воздуха вокруг его стенок (фиг. 36). На фиг. 36 направление воздушного потока показано стрелками.

Сушку электродных печей-ванн после ремонта лучше всего производить электрической грелкой. Сушку ведут до тех пор, пока кожух печи не нагреется примерно до 50—60° С. Для электродов печей-ванн применяют жароупорные стали Х23Н13 или другие, а также малоуглеродистые стали 10, 15, 20, Ст. 2 и т. п.

Технические характеристики электропечей, применяемых для термической обработки металлов

Тип печи	Мощность в *квт*	Размеры рабочего пространства в *мм*			Габаритные размеры в *мм*			Число тепловых зон	Наибольшая рабочая температура в °С	Производительность в *кг/ч*		Общий вес в *т*	Примечание
		Ширина или диаметр	Длина	Высота	Ширина	Длина	Высота			Наибольшая согласно каталогу	Средняя согласно данным заводов		
Камерные печи с металлическими нагревателями													
для работы без защитной атмосферы													
Н15	15	300	650	250	1100	1600	1440	1	950	50	25—30	1,2	
Н30	30	450	950	450	1400	1790	2020	1	950	125	55—65	3,2	
Н45	45	600	1200	500	2050	2250	2000	1	950	200	90—115	3,8	
Н60	60	750	1500	550	2200	2560	2000	1	950	275	140—170	5,0	
Н75	75	900	1800	600	2360	2860	2500	1	950	350	210—250	6,2	
НШ100А	100	970	1820	600	2280	5030	2440	1	860	300	240—300	9,5	Электропечь с шаровым подом и тележкой «толкатель-таскатель»
для работы с защитной атмосферой													
Н20Х40	8	200	400	140	710	1105	660	1	950	15	15—20	0,29	Нагреватели расположены
Н25Х50	12	250	500	170	820	1245	760	1	950	30	20—25	0,4	
Н30Х65	18	300	650	200	870	1395	790	1	950	50	30—40	0,5	
Н30Х45	12	300	450	200	870	1195	790	1	1000	25—35	22—28	0,4	

Тип печи	Мощность в *квт*	Размеры рабочего пространства в *мм*			Габаритные размеры в *мм*			Число тепловых зон	Наибольшая рабочая температура в °С	Производительность в *кг/ч*		Общий вес в *т*	Примечание
		Ширина или диаметр	Длина	Высота	Ширина	Длина	Высота			наибольшая согласно каталогу	средняя согласно данным заводов		
Н40Х80А	30	400	800	260	1550	1860	1960	1	1000	85	50—60	1,6	На своде, боковых стенках, в поду
Н40Х55	18	400	550	260	1550	1610	1960	1	1000	50—70	35—45	1,4	
Н50Х100	45	500	1000	320	1650	2240	2135	1	1000	150	75—100	2,35	Нагреватели расположены на своде, боковых стенках, в поду и дверцах
Н50Х65*	24	500	650	320	1650	1890	2135	1	1000	90—120	55—65	2,1	
Н65Х130	70	650	1300	400	1800	2460	2135	2	1000	220	130—170	3,3	
Н65Х90	36	650	900	400	1800	2060	2135	2	1000	130—170	90—120	3,0	
Н85Х170	170	850	1700	500	1900	2800	2280	2	950	400—450	220—280	5,3	
Н85Х110	110	850	1100	500	1900	2200	2280	2	1000	230—280	140—180	4,8	
НШ-100В	100	910	1825	615	2185	5400	2483	1	860	300	220—260	9,5	С шаровым подом и тележкой «толкатель-таскатель»

Камерные печи с карборундовыми нагревателями

ОКБ333*	15	250	360	200	1200	1140	1430	1	1300	30	—	0,75	Могут работать с защитной атмосферой.
ГЗО*	30	300	400	250	1495	1575	1770	1	1300	50	—	2,1	
ОКБ210*	50	520	945	350	1450	2100	2000	1	1300	120	—	3,6	

Продолжение табл. 143

Тип печи	Мощность в *квт*	Размеры рабочего пространства в *мм*			Габаритные размеры в *мм*			Число тепловых зон	Наибольшая рабочая температура в °С	Производительность в *кГ/ч*		Общий вес в *т*	Примечание
		Ширина или диаметр	Длина	Высота	Ширина	Длина	Высота			наибольшая согласно каталогу	средняя согласно данным заводов		
ОКБ194А	19	300 250	410 360	180 175	1350	1325	1800	1	850 1300	25		1,5	Печь двухкамерная. В числителях данные, относящиеся к нижней камере, в знаменателях — к верхней
Шахтные печи для закалки													
Ш30	30	450	—	800	1670	1690	1900	1	950	140	70—90	2,1	
Ш35	35	300	300	1200	1550	1550	2290	2	950	125	60—80	3,0	
Ш55	55	300	300	2000	1550	1550	3000	3	950	230	100—130	4,2	
Ш70	70	660	—	2500	2350	4370	3810	3	950	330	150—200	6,5	
Г65*	65	300	300	1700	1550	1918	2925	2	1300	255	125	4,7	Электропечи с карборундовыми нагревателями
Г95*	95	300	300	2400	1550	1918	3800	3	1300	265	160	5,8	

Тип печи	Мощность в *квт*	Размеры рабочего пространства в *мм*			Габаритные размеры в *мм*			Число тепловых зон	Наибольшая рабочая температура в °С	Производительность в *кГ/ч*		Общий вес в *т*	Примечание
		Ширина или диаметр	Длина	Высота	Ширина	Длина	Высота			наибольшая согласно каталогу	средняя согласно данным заводов		
Шахтные печи для отпуска и термической обработки легких сплавов													
ПН31А	24	400	—	500	1430	1460	1930	1	650	100	50—70	1,4	
ПН32А	36	500	—	650	1540	1540	2130	1	650	280	120—150	1,8	
ПН34	75	950	—	1220	2560	4660	3040	1	650	500	350—400	5,6	
Шахтные муфельные печи для газовой цементации													
Ц25	25	300	—	450	1420	1790	2200	1	950	50	5	2,2	Средняя производительность указана для глубины цементации 1 *мм* и температуры цементации 930° С
Ц35	35	300	—	600	1420	1790	2360	1	950	100	10	2,5	
Ц60	60	450	—	600	1590	1970	2390	2	950	150	15	3,6	
Ц75	75	450	—	900	1590	1970	2760	2	950	220	25	5,0	
Ц90	90	600	—	900	1770	2170	2800	2	950	400	40	6,7	
Ц105	105	600	—	1200	1770	2170	3220	2	950	500	45	7,7	
*Шахтные безмуфельные печи для газовой цементации**													
ЩЦН20	20	300	—	450	1370	1865	2295	1	1050	50	—	1,8	Данные о производительности печей для цементации и азотирования
ЩЦН45А	45	450	—	600	2010	2120	3115	2	1050	150	—	3,7	
ЩЦН65А	65	450	—	900	2010	2120	3325	2	1050	220	—	4,0	
ЩЦН95А	110	600	—	1200	2160	2270	3870	2	1050	500	—	5,2	

Тип печи	Мощность в *квт*	Размеры рабочего пространства в *мм*			Габаритные размеры в *мм*			Число тепловых зон	Наибольшая рабочая температура в °С	Производительность в *кГ/ч*		Общий вес в *т*	Примечание
		Ширина или диаметр	Длина	Высота	Ширина	Длина	Высота			наибольшая согласно каталогу	средняя согласно данным заводов		
Шахтные печи для азотирования и цианирования													
ОКБ-3016	10	200	—	300	900	900	1000	—	650	80		—	В каталогах представлены в виде единовременной загрузки
ОКБ-3017	24	320	—	480	1100	1300	1635	—	650	150		—	
ОКБ-3018	60	500	—	750	1620	1900	2220	—	650	400		—	
ОКБ-3019	120	800	—	1200	1970	2200	3000	—	650	1200		—	
ОКБ-3020	100	750	2300	950	1970	8600	3795	—	650	1250		—	
Печи-ванны с металлическими нагревателями													
В10	10	200	—	350	980	1200	1830	1	850	30	15—20	0,9	
В20	20	300	—	535	1190	1400	2000	1	850	80	40—50	1,3	
830	30	400	—	655	1310	1515	2260	1	850	130	60—80	1,6	
*Печи-ванны электродные**													
С-20	20	220	—	460	905	—	1820	1	1300	90	—	1,0	
С-25	25	380	—	475	1100	—	2190	1	850	90	—	1,3	
С-45	45	340	—	600	1100	—	2100	1	1300	200	—	1,3	
С-50	50	600	900	450	1750	2020	1310	1	600	100	—	2,6	
С-100	100	600	900	450	1650	1650	1320	1	850	160	—	3,6	
СП 2-35	35	220	—	420	1000	—	1820	1	1300	30	—	0,9	
СПЗ-75	75	340	—	580	1100	—	2090	1	1300	55	—	1,6	

Тип печи	Мощность в *квт*	Размеры рабочего пространства в *мм*			Габаритные размеры в *мм*			Число тепловых зон	Наибольшая рабочая температура в °С	Производительность в *кГ/ч*		Общий вес в *т*	Примечание
		Ширина или диаметр	Длина	Высота	Ширина	Длина	Высота			наибольшая согласно каталогу	средняя согласно данным заводов		
СП-35/10	35	170 / 130	300 / 240	450 / 320	1096	1116	1940	1	1300	155	—	1,4	
СП-35/15	35	240 / 220	360 / 300	350 / 240	1096	1116	1904	1	1300	135	—	1,7	
СП-60/20	60	250 / 210	360 / 300	350 / 220	1096	1116	1904	1	1300	210	—	1,6	
СП-100/40	100	290 / 250	450 / 390	420 / 320	1186	1196	2044	1	1300	330	—	2,3	
Конвейерные печи закалочные													
К-90М	90	400	3255	270	2550	6210	2150	2	875	До 200	—	13,5	
К-130М	130	400	4215	270	2550	7170	2150	3	875	До 270	—	16,0	
К-170М	170	600	5175	270	2750	8130	2150	3	875	До 380	—	20,0	
Конвейерные печи для высокого отпуска													
К-65М	65	400	4215	270	2550	7170	3010	2	700	До 200	—	15,0	
К-95М	100	600	4215	270	2750	7170	3010	2	700	До 270	—	16,0	
К-135М	140	600	6135	270	2750	9090	3010	3	700	До 380	—	22,0	
Конвейерные печи для низкого отпуска													
КО-45	45	600	5540	415	2555	7545	2700	3	350	До 200	—	14,0	
КО-55А	55	600	7460	415	2555	9465	2700	3	350	До 270	—	16,0	
КО-75А	75	800	7450	415	2355	9465	2700	3	350	До 380	—	18,0	

Тип печи	Мощность в *квт*	Размеры рабочего пространства в *мм*			Габаритные размеры в *мм*			Число тепловых зон	Наибольшая рабочая температура в °С	Производительность в *кГ/ч*		Общий вес в *т*	Примечание
		Ширина или диаметр	Длина	Высота	Ширина	Длина	Высота			наибольшая согласно каталогу	средняя согласно данным заводов		
Толкательные печи, закалочные и отжигательные													
Т-100Б	100	600	3070	400	4200	9170	2410	3	950	250	—	18,2	
Т-140Б	155	600	4550	400	4200	10650	2410	3	950	350	—	21,3	
Т-240	240	1400	5440	400	4905	12380	2455	3	950	650	—	38,0	
ТО-300	300	1200	7900	400	2610	12300	2300	4	780	500	—	30,0	Электропечь отжигательная
Толкательные печи для высокого отпуска													
Т-65 . . .	65	600	3070	400	—	—	—	—	650	250	—	13,8	
Т-85 . . .	35	600	4550	400	3230	9710	2280	3	650	350	—	17,0	
Т-165Б . .	165	1200	6515	400	2738	10125	3000	4	700	650	—	31,0	
Толкательные печи для низкого отпуска													
ТО-45 . . .	45	600	4625	400	3230	8190	2570	—	250	350	—	9,3	
Толкательные печи для нагрева в атмосфере водорода													
ЦЭП-214А	20	250	1000	140	1240	5845	2000	—	1500	3—4	—	2,8	Размер лодочки 220×330, выс. 80 *мм*
ЦЭП-219А	12	53	—	620	1000	2540	1800	—	1750	—	—	0,9	
ЦЭП-220А	20	100	—	750	1300	3406	1700	—	1400	1—2	—	2,0	
ЦЭП-272	13	140	113	915	978	3500	1765	—	1300	—	—	1,12	

Продолжение табл. 143

Тип печи	Мощность в *квт*	Размеры рабочего пространства в *мм*			Габаритные размеры в *мм*			Число тепловых зон	Наибольшая рабочая температура в °С	Производительность в *кГ/ч*		Общий вес в *т*	Примечание
		Ширина или диаметр	Длина	Высота	Ширина	Длина	Высота			наибольшая согласно каталогу	средняя согласно данным заводов		
Вакуумные печи													
ОКБ-704	15	300	—	350	1700	2250	2500	1	1200	—	2—3	2,0	
ЦЭП-245	35	220	—	450	1050	1675	1290	1	1100	—	1,5	0,8	
ЦЭП-301	50	250	—	370	1750	2260	1900	1	1300	—	1,8	2,14	
ОКБ-744***	100	800	1090	—	4500	3740	5940	1	1000	—	—	4,77	Вакуум $1 \cdot 10^{-4}$
ОКБ-745***	190	1100	1780	—	4670	4070	6100	1	1000	—	—	7,55	
Барабанные печи, закалочные и отпускные													
ОКБ-130С	19	400	—	2750	1330	4850	1750	—	180	30	—	2,1	
ОКБ-128С	30	200	—	1200	2300	4785	3040	—	830	30	—	5,2	
Б-70	70	310	—	2000	1350	5700	3735	—	920	160	—	9,0	
Печь для отжига концов пружин													
ОКБ	4	300	170	4	1370	650	1850	—	850	6,4	—	0,45	
Карусельные печи													
ОКБ-492А	160	1800	400	—	4000	—	4000	3	1270	350	—	21,4	Электропечи работают с защитной атмосферой
ОКБ-493А	100	1550	250	—	3480	—	3860	2	1270	120	—	20,4	
ОКБ-231	40	1100	—	385	1860	—	2500	2	950	100	—	6,6	
ОКБ-338	54	1400	—	338	2340	2800	2580	1	700	До 200	—	5,0	

Тип печи	Мощность в *квт*	Размеры рабочего пространства в *мм*			Габаритные размеры в *мм*			Число тепловых зон	Наибольшая рабочая температура в °С	Производительность в *кГ/ч*		Общий вес в *т*	Примечание
		Ширина или диаметр	Длина	Высота	Ширина	Длина	Высота			Наибольшая согласно каталогу	Средняя согласно данным заводов		
ОКБ-339	120	1400	—	603	2340	2800	2580	2	700	До 450	—	5,5	То же
ОКБ-340	120	1400	—	603	2340	2800	2580	2	700	До 450	—	5,55	
ОКБ-341	120	1400	—	737	2340	2800	2580	2	700	До 450	—	5,2	
ОКБ-494	75	1650	500	—	3200	—	4550	1	500	230	—	10,7	
ОКБ-495	50	1250	250	—	2450	—	3990	1	500	140	—	7,1	
Печи лабораторного типа, применяемые в термических цехах													
МП-0 . .	1,75	137	210	85	445	430	485	—	1000	—	—	0,042	Температура регулируется реостатом
МП-1 . .	1,75	137	210	85	445	492	485	—	1000	—	—	0,04	
МП-2 . .	2,6	175	263	95	525	603	566	—	1000	—	—	0,06	Температура регулируется автоматически
Ш-0,05 . .	1,1	410	390	—	585	570	700	—	250	—	—	0,055	

Примечания. 1. Печи, отмеченные одной звездочкой, работают с понижающими трансформаторами. 2. Для высокотемпературных соляных ванн (отмечены двумя звездочками) производительность приведена для нагрева в интервалах температур 800—1260°С. Производительность печей СП2-35 и СП3-75 занижена. 3. Печи поставляются с нормальным вакуумным насосом (отмечены тремя звездочками). Печи таких же габаритов ОКБ-744А и ОКБ-745А поставляются с парортутными насосами, а печи ОКБ-744Б и ОКБ-745А — с другим расположением вакуумного оборудования относительно печей. 4. Для закалочных печей и ванн производительность указана для операции закалки и нормализации. В случае, если в этих печах производят другие операции, их производительность принимают с коэффициентами 0,4—0,5 при отжиге, 0,9 при высоком отпуске и 0,5—0,6 при низком отпуске. 5. При обработке алюминиевых, магниевых и титановых сплавов производительность печей пересчитывают от производительности при операциях термической обработки стали, производимых при примерно равных температурах с учетом разницы удельных весов. Пример: Примерная производительность при закалке алюминиевого сплава в печи Н15 $П_Д = \frac{П_{ст} K}{ч} = \frac{25 \cdot 0{,}9}{2{,}9} = 7{,}8$ *кГ/ч*, где $П_{ст}$ — производительность печи при обработке стали; K — коэффициент, применяемый при высоком отпуске стали, равный 0,9; $ч$ — частное от деления удельного веса стали на удельный вес алюминия 5. В таблице приведены данные о наиболее часто применяемых печах. 6. Производительность для печи ЦЭП-214А выражена в лодках в *1 ч*. 7. Производительность для печи ЦЭП-220А выражена в *м/ч*. 8. В настоящее время взамен электрических вакуумных печей ЦЭП-245 и ЦЭП-301 выпущены элеваторные вакуумные электропечи типа ЭВТ-7, ЭВТ-15 и ЭВТ-50 размерами рабочей цилиндрической камеры 200×200, 300×300 и 500×500 *мм* соответственно. Вакуум обеспечивается до 10^{-3} *мм. рт. ст.* Печи предназначены для термической обработки магнитных сплавов в вакууме, магнитном поле или без него с последующим быстрым охлаждением в специальной камере.

Таблица 144

Агрегаты для термической обработки изделий в конвейериых печах

Закалочиая печь	Закалочный бак	Моечная машииа	Отпускиая печь	Замочный бак
Закалка с высоким отпуском				
К-90М	ЗБК-400А	ММК-600М	К-65М	БК-600
К-130М	ЗБК-400А	ММК-600М	К-95М	БК-600
К-170М	ЗБК-600А	ММК-600М	К-135М	БК-600
Закалка с низким отпуском				
К-90М	ЗБК-400А	ММК-600М	КО-45	—
К-130М	ЗБК-400А	ММК-600М	КО-55А	—
К-170М	ЗБК-600А	ММК-600М	КО-75А	—

Таблица 145

Основиые характеристики материалов для нагревательных элементов

Наименование или марка	Наивысшая рабочая температура в ° С	Удельное электросопротивление в *ом · мм²/м* при 20° С
Х13Ю4*	1000	1,26
ОХ23Ю5*	1200	1,37
ОХ23Ю5А*	1200	1,35
ОХ25Ю5А*	1300	1,42
Х15Н60*	1050	1,1
Х20Н80*	1100	1,11
Х20Н80Т3*	1100	1,27
ЭИ595	1200	1,40
ЭИ626	1300	1,40
Х25Н20С2	900	0,92
Платина	1400	0,98
Молибден	2000	0,515
Графит	3000	8—13

Примечания. 1. Сплавы Х15Н60, Х20Н80 и Х20Н80Т3 неустойчивы в атмосфере, содержащей сернистые соединения, но более жаропрочны, чем хромоалюминиевые сплавы. 2. Сплавы, отмеченные звездочкой, взяты из ГОСТ 9232-59.

Таблица 146

Техническая характеристика закалочного и замочного баков и моечной машины

Наименование	Закалочиый бак ЗБК-400А	Замочный бак БК-600	Моечиая машина ММК-600М
Мощность электродвигателя конвейера в *квт*	1	1	1

Продолжение табл. 146

Наименование	Закалочный бак ЗБК-400А	Замочный бак БК-600	Моечная машина ММК-600М
Мощность электродвигателя насоса в *квт*	—	—	4,5
Размеры рабочего пространства в *мм*:			
ширина (по конвейерной ленте)	400	680	600
длина	2700	1900	2000
высота (по загрузочному пространству)	250	250	250
Вес обрабатываемых деталей в *кГ*	До 3	До 3	До 3
Производительность в *кГ/ч*	До 270	До 380	До 380
Объем жидкости в $м^3$	7,5	5,7	0,95
Время пребывания изделий в рабочем пространстве в *мин*	15,5; 7,5; 5,0	11,1; 5,6 3,7	12,5; 6,5; 4,5
Расход воды в $м^3/ч$	—	0,05	0,5
Расход насыщенного пара при давлении 2 *атм* и 110—120° С в *кГ/ч*	—	—	30
Наибольшая температура в °С	—	—	80

Таблица 147

Техническая характеристика моечных машин
(производство Саратовского ЗЭТО)

Наименование	ММК-6000К толкательная	ОКБ-129С барабанная	ММ1200I толкательная
Рабочие размеры в *мм*:			
ширина или диаметр	600	500	1200
длина	1340	—	2380
высота	400	1400	400
Емкость ванны в $м^3$	0,5	0,42	0,8
Способ нагрева	Пар	—	ТЭН
Температура моющей жидкости в °С	90	80	90
Техническая производительность в *кГ/ч*	350	25	750
Габаритные размеры в *мм*:			
ширина	1626	1185	2380
длина	1670	2270	2400
высота	1665	1990	1665
Вес в *т*	0,78	0,92	1,05

Таблица 148

Техническая характеристика печных трансформаторов

Марка	Мощность в *ква*	Напряжение в *в*	Габаритные размеры в *мм*			Вес в *т*
			Ширина	Длина	Высота	
ТПО152	15	220	440	560	680	0,2
ТПО153	15	380				
ТПТ350	35	380/220	510	1025	836	0,5
ТПО252	25	220	460	705	950	0,36
ТПО253	25	380				
ТПО502	50	220	775	1095	1210	0,68
ТПО503	50	380				
ТПТ600	60	380/220	775	1455	1115	0,9

Химический состав и свойства карборундовых нагревателей приведены ниже.

Тип карборуидового иагревателя	силит	глобар
Состав элементов в %		
SiC	94,4	96,0
SiO	3,6	1,1
C	0,3	0,6
Al	0,2	0,3
Fe	0,6	0,7
Si	0,3	0,3
CaO + MgO	0,6	0,6
Наивысшая температура в °С	1500	1500
Удельное сопротивлеиие в *ом·мм²/м* при 20 °С	1000—2000	930—1950

Для термической обработки изделий из легких сплавов взамен взрывоопасных селитровых ванн применяют воздушные электротермические агрегаты типа ЭТА.

Приводим техническую характеристику печи ЭТА-2	
Размеры рабочего пространства в *мм*	1200×3200×1600
Размеры закалочного бака в *мм*	1100×3150×1700
Напряжение в *в*	380/220
Общая мощность нагревателей в *квт*	120
Число тепловых зон в *шт*	9
Рабочая температура в ° С	120—500
Максимальная производительность в *кГ/ч*	220
Равномериость распределения температуры в ° С	±5
Габаритные размеры в *мм*	5000×5350+6000

Снабжение печей контролируемой атмосферой осуществляется установкой для приготовления эндотермического газа ОКБ-724, изготовляемой Чадыр-Лунгским ЗЭТО Молдавского СНХ по таким техническим условиям:

Производительность в *м³/ч*	30
Мощность в *кот*	30
Напряжение в *в*	220/380
Число фаз	3/1
Схема соединения нагревателей	Δ /послед.
Рабочая температура в °С	1050—1100
Состав защитной атмосферы в %	H_2—36—40; CO—18—20; остальное H_2
Исходное сырье	природный газ, городской газ, сжиженные пропано-бутановые смеси
Расход исходного газа в *м³/л*	6
Габаритные размеры в *мм*	
ширина	1440
длина	2350
высота	2500
вес в *кГ*	2750

Постоянство состава вырабатываемого установкой газа обеспечивается при помощи прибора-автомата для непрерывного контроля и регулирования печной атмосферы по точке росы, предложенного НИИавтопромом.

Для нагрева селитры, щелочи, соли, масла и других веществ, необходимых при термической обработке, рационально применять трубчатые электронагреватели — ТЭН, помещаемые непосредственно в нагреваемую среду.

Трубчатые электронагреватели представляют собой изогнутые трубки из углеродистой или нержавеющей стали, внутри которых находятся изолированные электрические спирали. Длину и мощность нагревателя, а также материал трубки выбирают в зависимости от объема ванны, температуры нагрева и состава нагреваемого вещества. В табл. 149 приведены ориентировочные данные по выбору трубчатых электронагревателей.

Необходимая мощность электронагревателей для плавки и нагрева селитры:

Объем ваины в *м³*	До 1	1—2	2—5	Свыше 5
Потребляемая мощность электронагревателей для плавки и нагрева 1 *м³* селитры до 600° С	40	35	25	20

Характеристика мазутных и газовых камерных печей (Союзтеплострой):

Размеры печи в *мм*				
Под печи (ширина × × глубина)	350 × 580	478 × 810	580 × 930	700 × 1160
Рабочие окна (ширина × глубина)	350 × 325	465 × 340	465 × 410	580 × 425
Производительность (закалка) в *кГ/ч*	30	70	100	150
Габаритные размеры *мм*				
ширина	1310	1425	1510	1660
длина	1730	1970	2010	2310
высота	3250	3410	3540	3550

Техническая характеристика трубчатых электронагревателей (ТУ-63-59)

Шифр	Назначение	Наибольшая температура нагрева в °С	Примечание
НСЖ	Расплавление и нагрев селитры	600	1. Типовые обозначения трубчатых электронагревателей составляются так:
НМЖ	Плавка цветных металлов и их сплавов	700	
НВ	Нагрев воды и водных растворов	100	
НВЖ	Нагрев воды и слабых растворов щелочей и кислот .	100	НСЖ 2,0 — 1,5 Н — нагреватель; С — селитровый; Ж — жаропрочный; 2,0 — развернутая длина трубки; 1,5 — номинальная мощность в *квт*
НВГ	Нагрев воды, водных растворов и слабых щелочей в гальванических ваннах . .	100	
НММ	Нагрев массы в открытых и закрытых сосудах	300	
НВС	Нагрев воздуха в печах, сушильных шкафах и т. п. . .	400	
НВСЖ	То же	600	2. Подбор ТЭН производят по каталогу [51]
НП	Нагрев пресс-форм, штампов, литейных форм и т. п. .	200	

В табл. 150, 151 и 152 приведены стандартизированные размеры печей-ванн на жидком газовом топливе, а также характеристики форсунок и горелок.

Ниже приведена характеристика форсунок низкой производительности (по нормали теплопроекта).

№ форсунки	ФДМ-1	ФДМ-1
Давление воздуха в *мм вод. ст.* . .	300—500	300—500
Расход воздуха в $м^3/ч$	50—100	85—130
Расход мазута в *кГ/ч*	4—8	5—10

В табл. 153 приведены данные об удельной производительности термических печей.

Таблица 150

Характеристика мазутных и газовых печей-ванн (Союзтеплострой)

Обозначение печей-ванн		Размеры тигля в *мм*		Вес тигля в *кГ*	Средняя производительность в *кГ/ч*
Газовых	Мазутных	Диаметр	Глубина		
ПТВГ-1	ПТВМ-1	200	350	49	20
		200	535	73	35
ПТВГ-2	ПТВМ-2	250	350	62	35
		250	535	86	50
		250	610	95	60
ПТВГ-3	ПТВМ-3	300	535	130	70
		300	610	146	80
ПТВГ-4	ПТВМ-4	400	535	160	100
		400	610	210	125

Таблица 151

Техническая характеристика форсунок

Тип форсунок	Диаметр сопла в *мм*	Производительность в *кГ/ч* при давлении воздуха в *мм вод. ст*						Диаметр воздухопровода в *мм*
		300	400	450	500	600	700	
Двухступенчатые большой производительности:								
ФДБ-1	50	—	—	20	22	24	25	50
ФДБ-2	64	—	—	30	34	37	40	75
ФДБ-3	70	—	—	48	52	56	60	100
ФДБ-4	90	—	—	76	82	89	95	125
Низкого давления (Стальпроекта):								
А-40	40	16	18	—	20	22	24	—
А-30	30	11	13	—	14,5	16	17	65
А-60	60	38	44	—	50	55	58	100
А-52	52	32	36	—	41	46	49	—
А-75	75	54	62	—	69	76	81	125
А-95	95	80	95	—	105	115	120	150
А-125	125	135	148	—	170	185	205	200

Таблица 152

Техническая характеристика газовых горелок пламенного гореиия низкого давления

Тип горелки	Производительность в $м^3/ч$	Диаметр в *мм*		Давление в *мм вод. ст.* и скорость в *м/сек*		Размер сопла газовоздушной смеси в *мм*
		газопровода	воздухопровода	газа	воздуха	
С раздельной подачей газа и воздуха:						
ГЩ-1	5—15	25	25	50—100	100—200	22,5×50
ГЩ-1 $1^1/_2$	10—30	37	37			21×75
ГЩ-2 . .	20—60	50	50	10—15	15—20	24,5×118
ГЩ-2 $1^1/_2$	40—100	63	63			24,5×118
Щелевая:						
ГЩ-3	60—140	75	75			53×120
ГЩ-4	100—200	100	100	50—100	100—200	58×150
ГЩ-5	150—300	125	125	10—15	15—20	68×183
Тангенциальная с вихревым факелом:						
ГТН-1	50—100	50	65			⌀ 70
ГТН-2	100—200	65	80			⌀ 90
ГТН-3	150—300	85	100	Не менее 80—100	Не менее 100—150	⌀115
ГТН-4	200—400	100	125	10—15	15—20	⌀140
ГТН-5	300—600	125	150	Скорость смеси		⌀170
ГТН-6	500—1000	150	170	10—12 *м/сек*		⌀200
С вихревым факелом						
ГТ-1	100	67	80	Не менее	Не менее	⌀ 80
ГТ-2	160	85	100	80—100	100—150	⌀100
ГТ-3	250	106	125	10—15	15—20	⌀125
ГТ-4	400	132	160	Скорость смеси		⌀160
ГТ-5	630	170	200	10—12 *м/сек*		⌀200
ГТ-6	1000	212	250	—		⌀250

Таблица 153

Ориентировочные иормы удельной производительиости печей в *кГ/м²ч* для различиых операций термической обработки

Операция термообработки	Термические печи					
	камериые	с выдвижным подом	толкательные	коивейерные	с вращающимся подом	с шаровым подом
Нормализация	120—150	60—100	150—200	150—220	160—200	180—220
Отжиг	40—60	35—50	50—70	—	—	40—100
Закалка . . .	120—160	60—80	150—120	180—220	150—200	180—220
Цементация:						
в твердом карбюризаторе .	8—12	8—12	15—20	—	15—18	—
в газовой среде	—	—	40—50	—	—	—
Газовое цианирование . . .	—	—	80—100	—	—	—
Отпуск	90—100	60—80	100—150	100—150	—	150—200

В табл. 154, 155 приведены технические характеристики установок для закалки токами повышенной и высокой частоты.

Оборудование для газопламенной закалки. Техническая характеристика установки АЗШ-1:

Скорость перемещения штанги в *мм/мин*	70—250
Ход штаиги в *мм*	25—500
Давлеиие в *атм*	
кислорода	2—4
ацетилена	0,1—0,2
воды	До 2
воздуха	2,5—4
Расход в *м³/ч:*	
кислорода	До 4
ацетилена	3,5
воды	До 0,06
воздуха	1,6
Мощность электродвигателя в *вт* . . .	80
Габариты установки в *мм*	2000 × 720 × 1050
Вес в *кГ*	330
Назначение	закалка зубьев шестерен ($m = 10 \div 30$, диаметр от 200 до 1500 *мм*)

Таблица 154

Техническая характеристика высокочастотных закалочных установок типа МГЗ для нагрева токами повышенной частоты

Тип	Оборудование, входящее в комплект установки		Мощность в *квт*	Частота в *гц*	Габаритные размеры в *мм*			Вес в *т*	Расход воды на охлаждение установки в *м³/ч*
	Наименование	Шифр			Ширина	Длина	Высота		
МГЗ-52	Станция высокочастотная генераторная*	ГС-50×1/2,5							
	Преобразователь повышенной частоты	ПВ-50/2500	50	2500	1040	1120	1040	2,1	—
	Станция для запуска приводного двигателя	БН5121-35А2							
	Станция высокочастотная закалочная**	ЗС-50/2,5	50	2500	1325	2280	2135	2,0	4,5
МГЗ-102	Станция высокочастотная генераторная*	ГС-100×1/2,5							
	Преобразователь повышенной частоты	ПВС-100/2500	100	2500	1040	1495	1040	2,5	—
	Автотрансформаторный пускатель	ОКБ-442-2							
	Станция высокочастотная закалочная**	ЗС-100/2,5	100	2500	1325	2280	2135	2,0	4,5
МГЗ-108	Станция высокочастотная генераторная*	ГС-100×1/8							
	Преобразователь повышениой частоты	ПВВ-100/8000	100	8000	1150	1685	1110	16,5	1
	Автотрансформаторный пускатель	ОКБ-442-2							
	Станция высокочастотная закалочная**	ЗС-100/8	100	8000	1325	2280	2135	2,0	4,5

Примечания. 1. В состав станций генераторной ГС (отмечены одной звездочкой), кроме преобразователя и пускателя, входят: шкаф с измерительными приборами, шкаф управления и щит контакторный. 2. Станции высокочастотные закалочные ЗС (отмеченные двумя звездочками) состоят из блоков: закалочного, управления закалки, сливного, а также высокочастотного контактора. 3. Все три установки поставляют в комплексном исполнении (МГЗ-52АК и т. п.) или блочном (МГЗ-52АБ и т. п.). Последняя отличается от станции комплексной тем, что высокочастотный трансформатор ТВД-2 и конденсаторная батарея размещены в отдельных блоках, что расширяет возможности встройки станции в закалочные станки и автоматические линии.

Таблица 155

Техническая характеристика высокочастотных ламповых установок

Тип устаиовки	Мощность в *квт*	Частота в *гц*	Габаритные размеры в *мм*			Вес в *т*	Расход воды на охлаждение установки в *м³/ч*
			Шнрииа	Длина	Высота		
ЛГЗ-10А	8	300—450	1000	1170	2150	0,75	0,54
ЛЗ-13	10	300—450	1020	1120	2050	0,85	1,2
ЛЗ-37	30	60—74	4020	2200	2250	2,7	1,75
ЛПЗ-37	30	60—74	4020	8550	2250	3,2	2,0
ЛЗ-67	60	60—74	4020	2200	2250	3,1	2,25
ЛПЗ-67	60	60—74	4020	3400	2250	3,4	2,5
ЛЗ-107	100	60—74	4120	2200	2250	3,8	2,25
ЛЗ-207	200	60—74	4620	2800	2500	6,0	7,0

Техническая характеристнка установки УГЗ-58:

Число оборотов шпинделя в минуту	87
Давление *атм*	
кислорода	3—5
ацетилена	0,3—0,6
городского газа	0,8—1,5
пропана	0,6—0,9
воды в баке	До 6
Расход в *м³/ч**:	
кислорода	5—60
ацетилена	4—20
городского газа	8—35
пропана	2,4—12
Время нагрева шестерни в *мин*	6—7
Мощность электродвигателя в *квт*	0,6
Габариты установки в *мм*	3000×1500×1600
Вес в *кГ*	750
Назначение	закалка шестерен ($m = 2 \div 8$)

Техническая характеристика станка СА-400

Высота центров в *мм*	400
Наибольшее расстояние между центрамн в *мм*	2200
Скорость вращеиия шпииделя в *об/мин*	0,03—133
Нанбольший диаметр обработки в *мм:*	
при длине детали до 350 *мм*	800
прн длине детали до 1600 *мм*	400
Наибольший вес детали при обработке в центрах в *кГ*	1600
Наибольший размер плоских деталей в *мм*	300—1500
Крутящий момент в *кГ/см*	65—800
Мощность электродвигателя в *квт*	0,37
Наибольший расход в *м³/ч:*	
ацетилена	20
кислорода	80
воздуха	80
воды	5
Габариты станка в *мм*	3640×600×1545
Назначение	Закалка изделий способом вращательным, плоскопоступательным и комбинированным

* В зависимостн от размера шестерни.

Таблица 156

Техническая характеристика горелок НАЗ55

Наименование	Ширина мундштука наконечника в *мм*					
	45	55	60	65	75	85
Число газовых сопел диаметром 0,8 *мм*	19	25	27	29	35	39
Расстояние между крайними соплами в *мм*	36	48	52	56	68	76
Число водяных сопел диаметром 0,9 *мм*	13	17	18	20	23	27
Диаметр инжектора в *мм*	0,95	1,2	1,2	1,2	1,4	1,4
Диаметр смесительной камеры в *мм*						
Подача кислорода:	2,8	3,5	3,5	3,5	4,3	4,3
давление в *атм*	2,0—4,0	2,0—4,0	2,0—4,0	2,0—4,0	2,0—4,0	2,0—4,0
расход в *л/ч*	1200—2000	1850—3100	1850—3100	1850—3100	2500—4100	2500—4100
Подача ацетилена:						
давление в *атм*	0,05—0,1	0,05—0,1	0,05—0,1	0,05—0,1	0,05—0,1	0,05—0,1
расход в *л/ч*	1100—1950	1700—2800	1700—2800	1700—2800	2300—3800	2300—3800
линейный расход в *л/ч·см*	300—500	360—580	330—540	330—500	340—560	300—500
Подача воды:						
давление в *атм*	0,03—0,1	0,03—0,1	0,03—0,15	0,04—0,2	0,05—0,2	0,05—0,25
расход в *л/ч*	45—130	60—180	60—180	70—200	80—240	85—280
линейный расход в *л/ч·см*	12—36	12—36	12—36	12—36	12—36	12—36
Подача воздуха:						
давление *атм*	0,5—1,3	0,7—1,5	0,8—1,5	0,9—1,6	0,9—1,6	1,0—1,8
расход в *м³/ч*	5,0—9,0	7,2—12,3	7,7—12,7	8,5—14,6	10,0—16,4	11,5—19
линейный расход в *м³/ч·см*	1,39—2,5	1,5—2,57	1,54—2,5	1,5—2,56	1,52—2,5	1,5—2,5

Примечания: 1. Давление газов и воды указаны на входе в наконечник. 2. Расход воды для охлаждения наконечников 30—60 *л/ч*.

В табл. 156 и на стр. 251 приведены технические характеристики наиболее распространенных горелок, работающих на ацетилено-кислородной смеси.

Для работы на пропане применяют горелку ГЗЗ-1-57, а для работы на природном газе и метане — горелку ГЗЗ-2-57 [40].

В табл. 157 приведены характеристики правильных прессов.

Таблица 157

Техническая характеристика прессов гидравлических одиостоечных для правки изделий

Параметр	Модель		
	П413	П415	П418
Усилие пресса в *т*	25	63	160
Наибольший ход поршня в *мм*	300	400	400
Скорость хода поршня:			
вниз в *мм/сек*	34	57	10,8
вверх в *мм/сек*	67	54	20,6
Наибольшее расстояние между верхней призмой и столом в *мм*	450	550	600
Расстояние от станины пресса до оси цилиндра в *мм*	250	300	300
Размеры стола в *мм*:			
ширина	300	400	570
длина	1615	2500	4000
Высота стола над уровнем пола в *мм*	900	1000	1000
Наибольшее расстояние между подвижными опорами в *мм*	1100	2050	2400
Мощность электродвигателя в *квт*	6	2,8	2,8
Габариты пресса в *мм*:			
длина	1730	2500	4120
ширина	1260	1610	1800
высота	2600	3000	3140
Вес пресса (около) в *т*	3	4,3	6,3

Техническая характеристика горелок ЛГ для закалки изделий с линейным профилем

Тип горелки	ЛГ-200	ЛГ-400	ЛГ-600
Ширина закалки в *мм*	100, 125, 150, 175, 200	250, 300, 350, 400	450, 500, 550, 600
Число сменных мундштуков . .	5	8	8
Давление в *кГ/см²*:			
кислорода . .	2—5	2,5—5,0	3,5—5,0
ацетилена	0,1—0,7	0,1—0,7	0,1—0,7
Расход в *м³/ч*:			
кислорода	4,2—8,5	10,0—17,0	18,5—25
ацетилена	3,5—7,0	8,5—14,0	15,5—21
Внутренний диаметр ацетиленового шланга в *мм* . .	13	16	16
Расход воды на охлаждение и закалку в *л/ч*	200—400	500—700	800—1200
Габариты горелок в *мм*	570 × 201 × 80	800 × 405 × 150	860 × 605 × 150
Вес комплекта в *кГ* . .	11,5	20	21

Приводим техническую характеристику закалочного пресса модели 5771А (изготовитель — Саратовский совнархоз).

Назначение пресса — закалка конических шестереи (тарельчатого типа), цилиндрических шестерен диаметром от 200 до 500 *мм*, а также плоских деталей и колец диаметром до 500 *мм*. Наибольшая толщина закаливаемых деталей 75 *мм*.

Наибольшее усилие на поршень верхнего пуансона в *кГ*	6912
Наибольшее усилие на поршень расширителя в *кГ*	720
Наибольшее диаметральное усилие на изделие в *кГ*	880
Наибольшее давление в *кГ/см²*	5,5
Продолжительность цикла закалки в *мин* . .	0,6—6,0
Габаритные размеры пресса в *мм*:	
длина	2090
ширина	1390
высота	2012

2. Огнеупорные материалы

Для постройки и ремонта термических печей применяют в основном шамотный кирпич.

Ремонт кладки электропечей производят фасонным огнеупорным кирпичом или подгонкой обычного шамотного кирпича до требуемого фасона (табл. 158).

При ремонте применяют раствор, состоящий из 25% огнеупорной глины и 75% молотого шамота.

Основные данные огнеупорных теплоизоляционных материалов *Таблица 158*

Материал	Объемный вес в *кГ/дм³*	Прочность на сжатие *кГ/см²*	Температура, при которой применяется	Коэффициент теплопроводности в *ккал/м.град·ч*	Примечание
Красный кирпич	1,4—1,6	15—50	—	$0{,}7+0{,}4\cdot10^{-3}\cdot t_{ср}$	Фундаменты под печи
Шамотный кирпич	1,8—1,9	150—300	1350—1450	$0{,}72+0{,}5\cdot10^{-3}\cdot t_{ср}$	Огнеупорная кладка сильнонагруженной ее части
Легковес с выгорающимн добавками АЛ-1,3	1,3	45	1300	$0{,}35+0{,}3\cdot10^{-3}\cdot t_{ср}$	
То же, БЛ-1	1,0	30	1250	$0{,}25+0{,}22\cdot10^{-3}\cdot t_{ср}$	Кладка нагревательных печей
Пеношамот	0,95	30	1300	$0{,}24+0{,}2\cdot10^{-3}$	Защищенная часть кладки нагревательных печей
»	0,6	10	1300	$0{,}9+0{,}125\cdot10^{-3}\cdot t_{ср}$	
Ультралегковес	0,3	7—10	1100	$0{,}05+0{,}15\cdot10^{-3}\cdot t_{ср}$	
Диатомит необожженный, в засыпке	0,35—0,7	—	900	$(0{,}1—0{,}08)+0{,}21\cdot10^{-3}\cdot t_{ср}$	Теплоизоляция малоэффективная
Диатомит обожженный, в засыпке	0,45—0,7	—	100	$(0{,}11—0{,}085)+0{,}215\cdot10^{-3}\cdot t_{ср}$	То же
Кирпич диатомитовый	0,7	10	950	$0{,}137+0{,}27\cdot10^{-3}\cdot t_{ср}$	»
	0,5	6	900	$0{,}09+0{,}2\cdot10^{-3}\cdot t_{ср}$	Теплоизоляция удовлетворительная
	0,6	8	900	$0{,}113+0{,}2\cdot10^{-3}\cdot t_{ср}$	

Продолжение табл. 158

Материал	Объемный вес в *кГ/дм³*	Прочность на сжатие *кГ/см²*	Температура, при которой применяется	Коэффициент теплопроводности в *ккал/м.град.ч*	Примечание
Асбестовый картон	1,0—1,4	10—14 (разрыв)	600	$0{,}135+0{,}16\cdot10^{-3}\cdot t_{ср}$	Малоэффективная теплоизоляция
Пенодиатомовый кирпич (ТУ-8-49 МНП)	0,4	7	900	$0{,}067+0{,}27\cdot10^{-3}\cdot t_{ср}$	Высокоэффективная теплоизоляция
Асбоцементные плиты (ВТУ-65-49 МСПТИ)	0,5	3,0 (изгиб)	450	$0{,}072+0{,}16\cdot10^{-3}\cdot t_{ср}$	То же
	0,4	2,5 (изгиб)	450	$0{,}072+0{,}11\cdot10^{-3}\cdot t_{ср}$	
	0,3	2,0 (изгиб)	450		
Минераловатно-асбестовые плиты	0,4	3,0 (изгиб)	450	$0{,}068+0{,}175\cdot10^{-3}\cdot t_{ср}$	
(КГТУ-95-52 МПСТИ)	0,35	2,5 (изгиб)	450	0,68 (при $t_{ср}=50°C$)	
Савелитовая плита (ГОСТ 6788-53)	<0,4	1,5 (изгиб)	500	$0{,}068+0{,}086\cdot10^{-3}\cdot t_{ср}$	
Вулканитовая плита (ВТУ-40-47 МСПТИ)	0,4	3,0 (изгиб)	600	$0{,}074+0{,}1\cdot10^{-3}\cdot t_{ср}$	Высокоэффективиая теплоизоляция
Шлаковая вата (ГОСТ 4640-52)	<0,15	—	750	$0{,}043+0{,}13\cdot10^{-3}\cdot t_{ср}$	
	<0,20	—	750	$0{,}041+0{,}12\cdot10^{-3}\cdot t_{ср}$	
	<0,25	—	750	$0{,}051+0{,}11\cdot10^{-3}\cdot t_{ср}$	
Зонолит (ТУ-41-47)	<0,15	—	1100	$0{,}062+0{,}22\cdot10^{-3}\cdot t_{ср}$	
Вермикулитовые плиты (ФОВ-250 ВТУ № 965—2092—51)	0,25	—	600	$0{,}07+0{,}2\cdot10^{-3}\cdot t_{ср}$	

3. Топливо

В качестве жидкого топлива применяют мазут, теплотворная способность которого приблизительно равна 9600 *ккал*.

В качестве газообразного топлива применяют различные газы. Их составы и значения теплотворной способности приведены в табл. 159.

Таблица 159

Средний химический состав газов и их теплотворная способность

Газ	Состав элементов в %						Теплотворная способность в *ккал/м³*	Плотность
	CO_2	CO	CH_4	C_mH_n	H_2	N_2		
Доменный газ	11,0	27,0	До 1	—	3,0	58,0	900	1,3
Коксовый газ	2,0	7,0	23,0	2,0	58,0	8,0	3900	0,5
Генераторный газ (из каменного угля) . .	4,5	25,0	2,0	0,2	13,0	55,3	1350	1,1
Газ пиролиза нефти .	0,5	0,8	41,0	43,0	14,0	0,2	11332	0,88
Природные газы:								
Саратовский . . .	0,2	—	94,0	25	—	33	8560	0,73
Дашавский . . .	0,1	—	97,8	0,8	—	1,3	8503	0,73
Ухтинский	0,2	—	93	1,2	—	5,6	7946	0,79
Ставропольский . .	0,1	—	98	0,6	—	1,3	8490	0,73
Шебелинский . . .	0,3	—	89,9	4,4	—	5,2	8470	0,79
Мелитопольский . .	0,2	—	97,9	0,1	—	1,8	8391	0,73
Курдюмский . . .	—	—	92,2	0,9	—	6,9	8059	0,76
Бугурусланский .	0,2	—	76,7	7,6	—	14,5	8109	0,88

4. Приборы для контроля температур

Ниже приведена характеристика манометрических сигнализирующих термометров ТС.

Модификация	ТС-100	ТС-200
Пределы показаний в °С	0—100	100—200

Назначение этих термометров: сигнализация температуры неагрессивных газов, паров и жидкостей.

Примечание. Баллон длиной 100 *мм* должен быть полностью погружен в измеряемую стрелу.

Технические характеристики ряда приборов теплового контроля приведены в табл. 160—167.

При выборе приборов теплового контроля рекомендуется учесть следующее: потенциометры типа ЭПП, ЭПД и ПСР — приборы самые

точные с допустимой погрешностью измерений не более ±0,5% от верхнего предела температуры шкалы, приборы МПП-054 — не более ±1%, а остальные приборы, указанные в табл. 166,— не более ±1,5%.

То же самое относится к уравновешенным мостам и логометрам.

Таблица 160

Краткая характеристика манометрических газонаполнительных термометров типа ТГ

Наименование	Марка	Тип прибора	Предел измерения в °С	Длина капилляра в *м*
Термометр манометрический дистанционный газовый	ТГ-278	Показывающий с сигнальным устройством	0—300	20, 40 и 60
То же	ТГ-410	Самопишущий с часовым приводом	0—300	20, 40 и 60
»	ТГ-610	Самопишущий с синхронным двигателем	0—300	20, 40 и 60
»	ТГ-618	Самопишущий с синхронным двигателем и трехпозиционным контактным устройством	0—300	20, 40 и 60
Термометр регулирующий, самопишущий с пневматическим изодромным устройством	04-ТГ-410	Регулирующий, самопишущий с часовым приводом	0—200	—
То же	04-ТГ-610	Регулирующий, самопишущий с синхронным двигателем	0—200	—

Примечания. 1. В технической характеристике указаны крайние пределы измерения температур. Фактические пределы 0—120, 0—160, 0—200 и 0—300°С. 2. Термометры ТГ-420, ТГ-440, ТГ-620 и ТГ-640 предназначены для 1, 2, 3 точек измерения.

Для программного управления процессами термической обработки применяется: РУ5-01 — автоматическое программное электронное регулирующее устройство. Работает в паре с потенциометром ЭПП-09 любой градуировки. Изготовляет Киевский совнархоз.

Радиационный пирометр типа РАПИР, предназначенный для измерения температуры поверхности нагретых тел диаметрами от 35 до 200 *мм*, комплектуется из: 1) телескопа типа ТЕРА-50, 2) панели сопротивления типа ПУЭС-54 (для измерения температур 400—1000° С

и 600—1200° С (не требуется) и 3) защитной арматуры типа ЗАРТ-53, а также вторичных приборов (табл. 168).

Таблица 161

Термометры манометрические электроконтактные типа ЭКТ для сигнализации или регулирования температуры

Тип термометра	Пределы показаний в °С	Наполнитель термобаллона
ЭКТ-1-60/0	От —60 до 0	Углекислота
ЭКТ-1-20/40	От —20 до +40	Фреон 12
ЭКТ-1-0/60	От 0 до 60	Хлорметил
ЭКТ-1-0/100	От 0 до 100	»
ЭКТ-1-50/150	От 50 до 150	»
ЭКТ-1-60/200	От 60 до 200	Ацетон
ЭКТ-1-100/250	От 100 до 250	Бензол
ЭКТ-2-0/300	От 0 до 300	Азот
ЭКТ-2-0/400	От 0 до 400	»

Таблица 162

Термометры сопротивления: ТСП — платиновые и ТСМ — медные (ГОСТ 6651-59)

Тип термометра	Обозначение градуировки	Диапазон температур длительного применения в °С	Номинальное сопротивление при 0°С в *ом*	Примечание
ТСП	Гр. 20	0—650	10	Температурные пределы применения, в зависимости от назначения, могут находиться внутри указанных диапазонов температур Подробную характеристику выпускаемых термометров см. в работе [58]
ТСП	Гр. 21	От —200 до +500	46	
ТСП	Гр. 22	От —200 до +500	100	
ТСМ	Гр. 23	От —50 до +180	53	
	Гр. 24	От —50 до +180	100	

Расстояние от телескопа до излучателя примерно 350—1500 *мм*.

Для измерения температуры при нагреве ТВЧ и автоматического отключения генератора НИИ ТВЧ разработан фотоэлектрический пирометр ФЭП-3, работающий в комплекте с потенциометром БП-120.

Определение температуры поверхности тела производят при помощи термокарандашей. Каждый карандаш в зависимости от химического состава изменяет свой цвет при определенной температуре. Термокарандаши предназначены для измерения температуры поверхности при открытом нагреве в интервале от 40 до 580° С.

Таблица 163

Краткая характеристика приборов, работающих с термометрами сопротивлений

Наименование	Тип	Назначение
Логометр показывающий с профильной шкалой	ЛПр-53	Для измерения температуры в одной точке
То же, взрывобезопасный	ЛПр-54	То же
Мост электронный уравновешенный, автоматический постоянного тока с вращающейся шкалой и неподвижным указателем температуры	ЭМВ-11	»
Мост электронный уравновешенный, автоматический переменного тока	ЭМВ-21	»
То же, постоянного и переменного тока, малогабаритный, показывающий и самопишущий с записью на ленточной диаграмме	МС1	»
То же, с двухпозиционным регулирующим устройстном	МСР-1	»
Мост электронный автоматический, самопишущий переменного тока с записью иа дисковой диаграмме	ЭМД-202	»
То же, с электронным трехпозиционным регулятором	ЭМД-212	Для измерения и регулирования температур в одной точке
То же, с пневматическим изодромным регулятором	ЭМД-232	Для измерения и регулирования температуры в печах с жидким или газообразным топливом
Мост уравновешенный электронный автоматический с позиционным регулятором и записью на ленточной диаграмме	ЭМП-209	Для измерения записи и регулирования температур в одной точке или в 3,6 н 12 точках
То же, с пневматическим изодромным регулятором	ЭМП-209	Для измерения записи и регулирования температур в печах с жидким или газообразным топливом
То же, показывающий и самопишущий с записью иа дисковой диаграмме	ЭМ-120	

Примечание. Приборы переменного тока типа ЭМД не рекомендуется применять там, где возможны наводки в измерительной цепи. Там лучше применять мосты постоянного тока, маркируемые соответственно ЭМД-102, ЭМД-112 и ЭМД-132.

Характеристика термопар

(ГОСТ 6616-53)

Тип	Материал		Предел измеряемой температуры в °С			Наиболее часто применяемый диаметр проволоки в *мм*	Компенсационные провода		
				Верхний			Материал, условная окраска		Обозначение
	положительный	отрицательный	Нижний	При длительном пользовании	При кратковременном пользовании		Электроположительный	Электроотрицательный	
ПП	Платинородий	Платина	—20	1300	1600	0,5	Медь (красная)	Сплав в ТП (зеленая)	П
ХА	Хромель	Алюмель	—50	1000	1300	3,2	Медь (красная)	Константаи (коричневая)	М
ХК	Хромель	Копель	—50	600	800	3,2	Хромель (фиолетовая)	Копель (желтая)	ХК
НК-СА*	НК	СА	300	1000	—	—	Обычный электрошнур		—

* Термопара НК-СА работает без поправки на температуру свободных концов.

Таблица 165

Марки и область применеиия компенсационных проводов

Марка провода	Наименование	Назначение
КПЮ	Провод с резиновой изоляцией в общей оплетке, пропитанной противогнилостным составом	Для прокладки в сухих помещениях или газовых трубах при температуре не выше 65° С (сухая и влажная среда)
КПС	То же, в свинцовой оболочке	Для прокладки в сырых помещениях, под открытым небом и в местах, где возможно воздействие на провод химических реагентов (сырая среда)
КПП	То же, в оплетке из стальной проволоки	Для установки на транспорте (сухая и влажная среда)
КПГО	Провод гибкий с резиновой изоляцией в общей оплетке, пропитанной противогнилостным составом	Для переносных установок при температуре не выше 65° С (сухая и влажная среда)

Таблица 166

Краткая характеристика приборов теплового коитроля, работающих в паре с термопарами

Наименование приборов	Тнп	Примечание
Милливольтметр	МПП-054	Выпускается в трех модификациях: МПП-154, МПП-254 и МПП-354
Милливольтметр показывающий, щитовой с плоской шкалой	МПЩпл-54	
То же, с профильной шкалой	МПЩПр-54	
Милливольтметр показывающий с профильной шкалой	МПЩР-53	Для работы с телескопом ТЭРА-50
Милливольтметр самопишущий щитовой с профильной шкалой	МСЩПр-154	Выпускаются в двух модификациях: МСЩПр-254 и МСЩПр-354
Милливольтметр самопишущий щитовой с профильной шкалой	МСЩПр-54	Для работы с телескопом ТЭРА-50

Продолжение табл. 166

Наименование приборов	Тип	Примечание
Потенциометр электронный автоматический с записью на дисковой диаграмме	ЭПД-02	Может работать также с радиационным телескопом типа ТЭРА-50 при наличии требуемой градуировки
То же, с электрическим позиционным регулятором	ЭПД-12	
То же, с пневматическим изодромным регулятором	ЭПД-32	
Потенциометр электронный с вращающейся шкалой и неподвижным указателем температуры	ЭПВ-01	Для измерения и регулирования температур до 12 точек
Потенциометр электроииый автоматический с электрическим позиционным регулятором и записью на ленточной диаграмме	ЭПП-09	Для работы в 1, 3, 6 и 12 точках. При необходимости изодромного регулирования добавляется приставка ИР-130, выпускаемая Челябинским заводом «Теплоприбор».
То же, с пневматическим изодромным регулятором	ЭПП-09	Для работы в одной точке
Потенциометр электронный, малогабаритный, показывающий и самопишущий на ленточной диаграмме	ПС-1	Одноточечный и многоточечный (до 12 точек)
То же, с регулирующим устройством	ПСР-1	То же
Потенциометр электронный	ЭПП-16	Для работы с телескопом ТЭРА-50
То же	БП-102	Для работы с фотоэлектрическим пирометром ФЭП-3

Таблица 167

Характеристика оптических пирометров

Условное обозначение	Наименование	Шкала в °С	Основные допустимые погрешности
ОППИР-09	Оптический пирометр	800—1400	—
		1200—2000	—
ОППИР-20-55	То же	800—1400	±21
		1200—2000	±30
ОППИР-30-55	»	1200—2000	±30
		2001—3000	±50

Примечание. Расстояние от измеряемого источника тепла 0,7 *м* и выше.

Таблица 168

Основная характеристика телескопов ТЭРА-50

Материал оптики телескопа	Пределы измерения в °С	Основная допустимая погрешность		Градуировка
		Диапазон измерения температуры в °С	Значение погрешности	
Кварцевое стекло	400—1000*	400—699	±12	Гр. Р1
	600—1200	700—899	±14	Гр. Р1
		900—1099	±18	
	700—1400	1100—1400	±22	Гр. Р2
Стекло К-8	900—1800	900—1099	±18	Гр. Р3
	1100—2000	1100—2000	±22	
Стекло К-8	1200—2200	1200—2000	±22	
	1400—2550	2001—2200	±24	Гр. Р4
		2201—2500	±28	

* Пределы измерения гостом не предусмотрены.

На основе опыта можно ориентировочно определять температуру при закалке по цветам каления, а при отпуске — по цветам побежалости.

Ниже приведено ориентировочное определение температур по цветам каления.

Цвет каления	Температура в °С
Темно-коричневый	530—580
Коричнево-красный	580—650
Темно-красный	650—730
Темно-вишнево-красный	730—770
Вишнено-красный	770—800
Светло-вишнево-красный	800—830
Светло-красный	830—900
Оранжевый	900—1050
Темно-желтый	1050—1150
Светло-желтый	1150—1250
Ослепительно-белый	1250—1300

Ориентировочное определение температур по цветам побежалости

Цвет побежалости	Температура в ° С	Толщина окисленного слоя в *мк* (приближенно)
Светло-желтый	220	0,45
Соломенно-желтый	240	0,45
Желто-коричневый	255	0,50
Красно-коричневый	265	0,50
Фиолетовый	250	0,65
Синий	300	0,65
Голубой	325	0,72
Серый	330—350	0,72

Щиты управления температурными процессами в печах обозначают так: ЩУ12, ЩУ22, ЩУМ13, ЩУМ15 и т. п.

Приводим расшифровку обозначений.

Буквенное обозначение			Цифровое обозначение							
			Первая цифра			Вторая цифра				Третья цифра
Щ	У	М	1	2	3	2	3	4	5	2
Щит	Управления	С магнитным пускателем (для управления мотором, встроенным в печь)	Автоматический электронный потенциометр с регистрацией	Милливольтметр пирометрический регулирующий	Милливольтметр пирометрический показывающий	Станция управления второй величины, номинальный ток контактора 75 *а*	Станция управления третьей величины, номинальный ток контактора 150 *а*	Станция управления четвертой величины, номинальный ток контактора 300 *а*	Станция управления пятой величины, номинальный ток контактора 600 *а*	Щит управления с двухполюсной станцией (все остальные щиты с трехполюсной станцией управления)

Габариты щитов управления 2—4-й величины 5-й величины

Ширина в *мм*	450	550
Длина в *мм*	660	750
Высота в *мм*	1800	1950

В табл. 169 приведены удельные нормы расхода материалов, применяемых в термических цехах.

Таблица 169

Ориентировочные удельные нормы расходов некоторых вспомогательных материалов, применяемых при термической обработке [74]

Операция	Материал	Расход в *Г/кГ* обрабатываемых изделий	Примечание
Закалка	Хлористый натрий и др.	40—85	Нагрев в пределах 800—900° С
	Хлористый барий	20—40	То же, для температуры выше 1000° С
	Масло	15—30	Охлаждающая среда
	Каустическая сода	30—90	То же, расплав при температуре 360—400° С
	Селитра	40—80	То же, расплав при температуре 150—450° С

Продолжение табл. 169

Операция	Материал	Расход в *Г/кГ* обрабатываемых изделий	Примечание
Обработка холодом	Фреон	5	Обработка в компрессорных установках ХКМ-2
	Сухой лед	350	При обработке в стационарных ваннах
	Бензин или ацетон	100	
Отпуск	Селитра	60—90	Расплав при 300—500° С
	Щелочь	30—70	То же, при 300—550° С
		10—30	При 200—300° С
Цементация	Твердый карбюризатор	150—450	
	Керосин	10—30	
	Пиробензол	15—75	
	Керосин	20—30	Для приготовления пиролизного газа
Цианирование газовое	Пиробензол	150—400	При температуре 840—860° С
	Аммиак	40—175	
	Керосин	15—40	При температуре 520—570° С
	Аммиак	6—17	
Цианирование жидкое Состав № 1	Цианистый натрий	20—40	При температуре 800—850° С
	Хлористый барий	15—25	
	Хлористый натрий	6—15	
Состав № 2	Желтая кровяная соль	20—40	При температуре 800—850° С
	Хлористый натрий	20—40	
Состав № 3	Цианистый натрий	20—40	При температуре 520—570° С
Цианирование твердое	Древесный уголь	50—100	При температуре 520—570° С
	Желтая кровяная соль	20—40	

Продолжение табл. 169

Операция	Материалы	Расход в *Г/кГ* обрабатываемых изделий	Примечание
Азотирование	Аммиак	150—500*	
Предохранение от цементации	Медь анодная	0,2	При омеднении
Травление	Кислота	30—40	
Очистка	Песок Дробь	50—80 1	
Дефектоскопия	Крокус	20	Приготовление суспензии

* Требует проверки.

Глава XI

СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕРМИЧЕСКИХ ЦЕХОВ И УЧАСТКОВ

1. Расчет производственной программы и требуемого оборудования

Расчет производят путем заполнения табл. 170, 171, 172. В случае, если наименований деталей мало или проектируется термический участок инструментального цеха, табл. 171 можно не заполнять, а в табл. 170 графы шестую и седьмую изменить: графу шестую — на «Количество деталей на годовую программу», а графу седьмую — «Вес деталей на годовую программу».

Табл. 170, 171, 172, 173 и 174 заполнены как примерные. В бланке табл. 170 заголовки граф, начиная с девятой, не заполнены и заполняются проектантом по мере определения операции и требуемого оборудования для обработки данной детали. Заполнение граф рекомендуется вести в последовательности технологического процесса. Каждому типу оборудования отводят отдельную графу. Сплавы, имеющие плотности, резко отличающиеся от плотностей стали, помещают в отдельной графе. При весьма большом количестве требуемых типов оборудования, для того чтобы не усложнять таблицу, можно ряд операций выделить в отдельную таблицу. Если в задании указан выпуск запасных деталей, то их надо учесть в табл. 171 путем добавления граф между третьей и четвертой — «Количество деталей в запас» и общее количество деталей на изделие». Исправление брака производят за счет резервов цеха.

Необходимо отметить, что производительности печей, приведенные в каталогах НИИ «Электропечь», рассчитаны на максимальное использование рабочего пространства при массовом производстве и расчет количества требуемых печей по этим нормам во всех остальных случаях приведет к ошибкам (и зачастую значительным). В табл. 143 автор наряду с производительностью печей согласно каталогам приводит для ряда печей также примерную производительность на заводах машиностроения и приборостроения, построенную на справочных данных о нормах удельной производительности печей ($кГ/м^2/ч$) для различных операций термической обработки (см. стр. 153 [6]). Эти данные подтверждаются также литературой [71, 72], материалами заводов и проектных институтов и наблюдением автора за работой печей.

Подсчет максимальной производительности соляных ванн автор рекомендует производить по таким данным:

1. Наибольший вес одного приспособления с деталями, загружаемого в ванну, около 10 $кГ$ (принимается загрузка вручную — наиболее распространенная).

2. Общее время нагрева садки (включая падение температуры) при загрузке, примерно равно:

Ведомость маршрутной технологии

№ п.п	Деталь		Марка стали	Вес 1 шт. в *кГ*	Количество деталей на изделие в *шт*	Вес деталей на изделие в *кГ*	Габариты деталей в *мм*
	№	Наименование					
1	2	3	4	5	6	7	8
1	*16*	*Корпус*	*45*	*2,5*	*1*	*2,5*	*Изде ⌀60×100*
2	*23*	*Втулка*	*98*	*0,2*	*8*	*1,6*	*⌀20×50*
3	*37*	*Собачка*	*98*	*0,1*	*2*	*0,2*	*10×70*
4	*41*	*Кронштейн*	*40Х*	*6,0*	*1*	*6,0*	*80×520*
Итого по изделию:						*10,3*	
Кратность нагрева $= \frac{\Sigma \text{гр.}9 \div 15}{\text{гр.}7} = 2{,}25$							
В процентном отношении граф 9—15 к графе 7							

Изде

Сводная ведомость годовой пооперационной

№ п.п	Нанменование изделия	Годовой выпуск			Кратность нагрева	Суммарная пооперационная программа с учетом кратности нагрева в *Т*
		В шт.	Вес деталей на 1 изделие в *кГ*	В *Т*		
1	2	3	4	5	6	7
1	*Изделия «А» . . .*	*12000*	*10,3*	*123,0*	*2,25*	*276,6*
2	*Изделия «Б» . . .*	*8000*	*57,5*	*460,0*	*2,18*	*1000,0*
3	*Изделия «В» . . .*	*15000*	*21,3*	*320,0*	*2,75*	*880,0*
Итого:				*903,6*	*2,38*	*2156,6*

Примечание. Цифры в графах 8—17 получают путем умножения годового вы-

Таблица 170

термической обработки деталей по изделиям

Термическая обработка по операциям и по печам на годовую программу							
Отжиг в кГ для Н30	*Нормализация в кГ для Н30*	*Закалка в кГ для Н30*	*Закалка в кГ для С-25*	*Закалка в кГ для Л3-67*	*Отпуск в кГ для ПН31*	*Отпуск в кГ для ПН32*	*ТУ*
9	10	11	12	13	14	15	16
лие «А»							
2,5	—	*2,5*	—	—	*2,5*	—	
—	—	—	*1,6*	—	*1,6*	—	
—	—	—	—	*0,2*	*0,2*	—	
—	*6,0*	—	—	—	—	*6,0*	
2,5	*6,0*	*2,5*	*1,6*	*0,2*	*4,3*	*6,0*	
24,3	*58,25*	*24,3*	*15,53*	*2,0*	*41,76*	*58,25*	
лие «Б»							

Таблица 171

программы по термическому цеху (участку)

Термообработка по видам операций и печам									
Отжиг в т для Н30	*Нормализация в т для Н30*	*Закалка в т для*				*Отпуск в т для*			
		Н30	*С-25*	*Л367*	*алюминиевых сплавов ПН32*	*ПН31*	*ПН32*		
8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
30,0	*72,0*	*30,0*	*19,2*	*2,4*	—	*51,0*	*72,0*		
100,0	*70,0*	*230,0*	*120,0*	*40,0*	*40,0*	*85,0*	*315,0*		
160,0	*60,0*	*160,0*	*50,0*	*30,0*	*80,0*	*160,0*	*180,0*		
290,0	*202,0*	*420,0*	*189,2*	*72,4*	*120,0*	*296,0*	*567,0*		

пуска (графа 5) на проценты по этим же операциям (табл. 170) по данному виду изделия.

Ведомость расчета основного оборудования

№ п.п	Операция	Наименование оборудования	Годовая программа в *т*	Производительность оборудования в *кГ/ч*	Годовая загруженность оборудования в *ч* (гр.4 : гр.5)	Годовой фонд времени работы оборудования в *ч*
1	2	3	4	5	6	7
1	*Отжиг*	*Н30*	*290,0*	*24*	*12100*	*5745*
2	*Нормализация*	*Н30*	*202,0*	*50*	*4040*	*3910*
3	*Закалка*	*Н30*	*420,0*	*50*	*8400*	*3910*
		С25	*189,2*	*60*	*3150*	*3910*
		Л367	*72,4*	*10*	*7240*	*3910*
		ПН32	*120,0*	*50*	*2400*	*3910*
4	*Отпуск*	*ПН31*	*296,0*	*70*	*4200*	*3910*
		ПН32	*567,0*	*150*	*3850*	*3910*
	Количество печей	*Расчетное*				
		Принятое				

* *Небольшая перегрузка печи компенсируется недогрузкой в других печах,*

Расчет годовой производственной программы

№ п.п	Детали		Колнчество в *шт.*		
	№	Нанменование	деталей на изделие	изделий на годовую программу	деталей на годовую программу
1	2	3	4	5	6
1	*16*	*Палец*	*3*	*3205*	*9615*
2	*32*	*Ролик*	*16*	*550*	*8800*

Примечание. Таблица необходима прн расчете оборудования по нормирован

Таблица 172

термического цеха по производительностн печей

Расчет загрузки печей							
Н30 (гр.6 : гр.7)	*С25* (гр.6 : бр.7)	*Л367* (гр.6 : гр.7)	*ПН32* (гр.6 : гр.7)	*ПН31* (гр.6 : гр.7)			
8	9	10	11	12	13	14	15
2,1							
1,1							
2,2							
—	*0,8*						
—	—	*2,9*					
—	—	—	*0,6*				
				1,1			
			0,9				
5,4	*0,8*	*2,9*	*1,5*	*1,1**			
6	*1*	*3*	*2*	*1*			

в которых возможно выполнение подобных операций (в данном случае печью ПН32)

Таблица 173

термического цеха (участка)

Запчасти		Всего деталей на годовую программу в *шт.*	Вес детали в *кг*	Полная годовая программа в *т*
%	Количество в *шт.*			
7	8	9	10	11
4	*385*	*10000*	*5,5*	*55*
—	*1200*	*10000*	*4,1*	*41*

ному времени (см. табл. 174).

№ п.п	№ детали	Марка стали	Габаритные размеры в *мм*	Годовая программа в шт.	Операция термической обработки	Количество деталей в рабочем пространстве печи			
						№ приспособления	Количество деталей на приспособлении в шт.	Количество приспособлений в печи в шт.	Количество деталей в печи в шт.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	*16*	*45*	*⌀80×140*	*10000*	*Отжиг*	*3—61*	*10*	*2*	*20*
2	*32*	*40Х*	*⌀100×80*	*10000*	*Закалка*	*2—93*	*8*	*2*	*16*

8—10 *сек/мм* для высокотемпературных ванн (с предварительным подогревом);

15—20 *сек/мм* для среднетемпературных ванн (без предварительного подогрева).

Подсчет ведут на 1 *мм* толщины загружаемого инструмента.

Для ванн больших объемов учитывают общий вес всех загруженных приспособлений, нагревающихся одновременно.

На заводах с массовым или крупносерийным производством расчет количества печей лучше производить по нормированному времени, установленному наблюдением (табл. 173, 174).

Таблица 175

Наименование операций	Проценты нормирования	
	основного времени, указанного в технологической карте, K_1	вспомогательного времени от основного K_2
Отжиг	0,3—0,5	0,15
Нормализация	0,5—0,75	0,2
Закалка с нагревом в камерных печах	0,5—0,75	0,25
То же, в соляных ваннах	1,0	0,4
То же, в установках ТВЧ	1,0	2,0
Отпуск	0,4—0,6	0,2
Цементация твердым карбюризатором	0,35—0,5	0,25

Нормированное время предложено [52] также определять по формуле

$$T = \frac{AK_1 + BK_2}{n},$$

где T — штучное время на термическую обработку;

A — основное нормируемое время — время на нагрев и охлаждение садки (при закалке);

Таблица 174

по нормированному времени *(печь типа Н30)*

Время пребывания деталей в печи в *ч*	Производительность печи в *шт/ч* гр. 10 : : гр. 11	Загрузка печи в *ч/год* (гр. 5 : гр. 12)	Годовой фонд времени работы печи в *ч*	Требуемое количество печей в шт. (гр. 13 : : гр. 14)	Принятое количество печей в шт.	Коэффициент загрузки
11	12	13	14	15	16	17
12	*1,6*	*6250*	*3910*	*1,6*		
2	*8*	*1250*	*3910*	*0,32*		
				1,92	*2*	*0,96*

B — вспомогательное нормируемое время — время на загрузку ящиков в печь при цементации и т. п.;

n — количество деталей в печи;

K_1 и K_2 — коэффициенты, учитывающие параллельную работу рабочего на нескольких печах (табл. 175).

Фонд времени работы оборудования и рабочих представлен в табл. 176, принятой для расчета проектными организациями.

Размеры закалочных баков определяются наибольшим размером закаливаемых изделий и требованием поддержания постоянной температуры охлаждающей жидкости в баке.

Объем закалочного бака подсчитывают по формуле

$$V_{жидк} = \frac{QC(t_1 - t_2)}{\gamma C_{ж}(t_к - t_н)},$$

где $V_{жидк}$ — объем охлаждающей жидкости;

Q — расчетное количество охлаждаемого металла в *кГ*, расчет ведут для наибольшего количества охлаждаемого металла одновременно или в 1 *ч*;

C — теплоемкость металла в *ккал/кГ · град*;

t_1 — температура металла до охлаждения в °С;

t_2 — температура металла после охлаждения в °С;

$t_к$ — температура охлаждающей жидкости после погружения в нее горячего металла в °С;

$t_н$ — начальная температура охлаждающей жидкости в °С;

$C_{ж}$ — теплоемкость охлаждающей жидкости принимается: для воды равной 1, для масла 0,48;

γ — удельный вес охлаждающей жидкости.

Размер бака может быть уменьшен за счет принудительного охлаждения закалочной жидкости любым способом, вплоть до охлаждения ее в специальной установке (например, в маслоохладительной).

Производительность оборудования, обслуживающего печь, должна быть не ниже производительности печи.

Таблица 176

Действительный (расчетный) годовой фонд времени работы оборудования и рабочих термических цехов

Оборудование	Действительный годовой фонд времени оборудования в *ч*			Действительный (расчетный) годовой фонд времени рабочего при семичасовом рабочем дие и разной продолжительности отпуска	
	при односменной работе	при двухсменной работе	при трехсменной работе	Продолжительность отпуска в днях	Годовой фонд времени
Для семичасового рабочего дня					
Печи термические механизированные	—	3830	6180	12 18 24	1855 1815 1795
То же, немеханизированные (с коротким циклом работы)	1955	3910	5745		
Для восьмичасового рабочего дня					
Печи механизированные	—	4400	6330	—	—
То же, немеханизированные (с коротким циклом работы)	—	4500	6375	—	—
То же, с непрерывным режимом (365 дней)	—		7800	—	—

Количество требуемого дополнительного оборудования (в *шт/ч*) можно определить по следующим данным:

Зачистка деталей на точиле	80—120
Правка деталей на прессе	20—40
Испытание на твердость на приборе ТШ с электродвигателем для черных металлов	40—90
То же, для цветных металлов	15—30
То же, на приборе ТК	50—100

Производительность оборудования зависит от величины деталей. Определение требуемой площади цеха производят путем расстановки оборудования с учетом существующих норм расстояний между оборудованием, проходами и т. п.

Предварительный подсчет площади (в $м^2$) может быть произведен из следующих ориентировочных норм на одну печь:

В термическом отделении инструментального цеха	25—40
В термическом цехе по обработке деталей основного производства	50—100
В термическом цехе по обработке поковок	80—130

Проезды и проходы не входят в приведенные нормы и занимают примерно 25—30% подсчитанной площади.

2. Планировка оборудования

Как правило, оборудование располагают по направлению грузопотока в порядке очередности операций технологического процесса. При такой планировке исключаются пересечения для цехов массового и крупносерийного прозводства и резко уменьшаются для заводов мелкосерийного и индивидуального производства. Расстановка оборудования должна обеспечить свободный доступ к нему со всех сторон. Расстояние между печами обычно принимают не менее 1,0—2,0 * *м* для камерных печей и 3,0—4,0 *м* для конвейерных и толкательных печей. Расстояние от стены цеха до печи соответственно принимают 0,8—1,6 *м* и 3,0—3,5 *м*. В случаях технологической необходимости эти размеры могут быть изменены; например, для светлой закалки соляную и щелочную ванны устанавливают рядом для обеспечения быстрого переноса деталей из одной ванны в другую. Печные трансформаторы устанавливают на расстоянии от стенки не менее 450 *мм*.

Камерные печи обычно располагают в одну линию по загрузочной стороне, шахтные — по одной оси, конвейерные и толкательные печи, связанные одним процессом, — в одну линию по центральной оси печей.

Для удобства работы шахтные печи устанавливают в приямках. Заглубление выполняют с таким расчетом, чтобы загрузочное отверстие печи находилось над уровнем пола на высоте 500—700 *мм*.

Согласно литературным данным [73] предусматриваются следующие нормы помещения в $м^2$ для одной ламповой установки ТВЧ

Устаиовки	Вновь монтируемые	Действующие
Мощность установки 30 *квт* и меньше	40	25
Мощность установки свыше 30 *квт*	70	40

Закалочные баки лучше всего устанавливать с левой стороны печей на наименьшем расстоянии от них.

При установке баков против загрузочного окна расстояние от окна до бака зависит от величины печи и должно обеспечивать требуемую свободу действий работающего и безопасную работу.

3. Технические расчеты

Расход электроэнергии. Ориентировочный удельный расход электроэнергии для различных процессов термообработки представлен в табл. 177.

* Выбор расстояния зависит от величины печи.

Таблица 177

Удельный расход электроэнергии по видам термической обработки

Процесс термической обработки	Расход электроэнергии в *квт-ч/т*	
	Камерная печь	Проходная печь
Отжиг	280	200
Нормализация	200	160
Закалка	250	160
Отпуск	130	140
Цементация в твердом карбюрнзаторе	600	510

Расход электроэнергии электродвигателей учитывают по их мощности и часам работы.

Расход электроэнергии на освещение определяют по формуле

$$Q = \frac{Sqtk}{1000} \; квт \cdot ч,$$

где Q — количество электроэнергии в *квт·ч*;

S — освещаемая площадь в $м^2$;

q — удельный расход электроэнергии на 1 $м^2$ освещаемой площади: для производственных помещений 11—15 *вт*; для бытовых и служебных помещений 10 *вт*;

t — число часов горения в году: при двухсменной работе 2500 *ч*; при трехсменной работе 4300 *ч*;

K — коэффициент, учитывающий одновременность горения: для печных пролетов — 0,8; для бытовых и служебных помещений — 0,7; для подвалов — 0,9.

Расход мазута и газа ориентировочно производят по данным, приведенным в табл. 178.

Таблица 178

Удельный расход мазута и газа при разных процессах термообработки

Процесс термической обработки	Мазут в *кГ/Т* (9800 *ккал/кГ*)		Газ в $м^3/Т$ (8500 *ккал/м³*)	
	Камерные печи	Проходные печи	Камерные печи	Проходные печи
Отжиг	220	—	338	—
Нормализация	95	80	148	116
Закалка	95	80	148	116
Отпуск	50	40	59,5	48
Газовая цементация	—	—	—	280
Цементация в твердом карбюризаторе	520	450	760	660

Расход воздуха низкого давления для распыления и сжигания мазута принимают около 15 $м^3/кГ$.

Расход воздуха высокого давления (5—6 *атм*) принимают по следующим нормам:

для дробеструйных аппаратов 1,0—5,0 *м³/мин* (в зависимости от диаметра сопла);

для подъемников печных дверок и механизированных баков около 0,6 *м³/ч*.

Расход воды подсчитывают по укрупненным показателям:

Статья расхода	
Охлаждение при закалке в баке на 1 *т* деталей	6— 8 *м²*
Охлаждение закалочных баков змеевиками на 1 *т* деталей	10—12 *м²*
Охлаждение после отпуска	2—4% от веса охлаждаемых деталей
Промывка деталей	20—30% от веса охлаждаемых деталей
Охлаждение масла в маслоохладительной установке	равно весу охлаждаемого масла
Охлаждение деталей при закалке на ламповых и машинных генераторах (расход в час) на одну установку . .	1—3 *м³*
Расход на бытовые нужды на одного рабочего в год	30 *м³*

Расход вспомогательных метериалов приведен в разделе оборудования.

Расход пара для подогрева моющих растворов принимают по табл. 179.

Таблица 179

Данные о расходе пара в *кГ/ч* при давлении 3 *кГ/см²* для обогрева воды в моечных баках в зависимости от температуры нагрева
(на 100 *л* воды)

Назиачение нагрева	Температура нагрева в °С			
	60	70	80	90
Разогрев	7,3	9,3	11,7	15,5
Нагрев при заданной температуре	5,8	7,5	8,8	10,2

Примечание. Время разогрева принимают 2 *ч*.

При расчете **приточной вентиляции** среднюю кратность обмена воздуха помещения в час принимают равной десяти. Установление кратности обмена зависит от загруженности цеха оборудованием.

4. РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА РАБОЧЕЙ СИЛЫ

Расчет количества производственных рабочих может производиться по выработанным практикой примерным нормам количества рабочих на один агрегат.

Толкательные и конвейерные печи для любых операций, стоящие отдельно или в агрегате — 1 чел. на печь или агрегат;

Камерные закалочные печи и соляные ванны — 1 чел. на печь;

Цементационные шахтные печи — 1 чел. на 3—4 печи;

Отпускные шахтные печи и ванны — 1 чел. на 4—5 печей и ванн;

Установки ТВЧ — 1 чел. на установку.

При определенни количества рабочих по расстановочному методу следует добиваться максимального совмещения рабочих мест, в особенности на заводах с небольшим объемом термических работ.

Разряд рабочих зависит от сложности производимых работ и принимается согласно квалификационному справочнику.

Количество вспомогательных рабочих по существующим нормам рекомендуется принимать из расчета: 30—40% от числа основных производственных рабочих в механизированных цехах и 40—80% — в немеханизированных. В число вспомогательных рабочих следует включать дежурных рабочих по обслуживанию оборудования, транспортных рабочих, кладовщиков, ремонтных рабочих и т.д.

Количество ИТР по тем же нормам принимают 10—12% от общего числа рабочих в немеханизированных цехах и до 20% в механизированных цехах. Число счетно-конторского персонала принимают равным 3—4% от общего числа рабочих, а младшего обслуживающего персонала 1—3%.

Приводя эти данные, автор сознательно не приводит существующие таблицы расстановки вспомогательных рабочих, так как считает, что расстановка зависит от структуры технического подчинения и обслуживания, принятой на данном производстве, и от многих других обстоятельств, характерных для данного производства, и должна решаться проектантом для каждого конкретного случая в отдельности.

Таблица 180

Примерные технико-экономические показатели термического цеха (участка)

Наименование показателей	Единица измерения	Характер пронзводства		
		индивидуальный и мелкосерийный	серийный	крупносерийный и массовый
Выпуск с 1 $м^2$ производственной площади	*т/г*	1—2	1,5—3	3—5
Выпуск на одного производственного рабочего	*т/г*	30—40	50—80	100—120
Площадь на единицу производственного оборудования . . .	$м^2$	20—40	50—80	100—120

Автор считает также более правильным число уборщиц определять не в зависимости от количества рабочих, а от площади цеха из расчета одна уборщица примерно на 500—600 $м^2$ площади цеха.

В табл. 180 представлены примерные технико-экономические показатели термических цехов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Машиностроение, энциклопедический справочник, т. 3, Машгиз, 1948.
2. Машиностроение, энциклопедический справочник, т. 14, Машгиз, 1949.
3. *Геллер Ю. А.*, Инструментальная сталь, Металлургиздат, 1961.
4. Конструкционная сталь. Справочник, т. I, под ред. Гудцова Н. Т., Металлургиздат, 1947.
5. Марочник конструкционных сталей станкостроения, Машгиз, 1947.
6. *Шмыков А. А.*, Справочник термиста, Машгиз, 1961.
7. *Вязников Н. Ф.*, Термист, Металлургиздат, 1957.
8. *Ассонов А. Д.*, Технология термической обработки деталей автомобиля, Машгиз, 1959.
9. *Каменичный И. С.*, Практика термической обработки инструмента, Машгиз, 1959.
10. *Омельянов А. Е., Рабинович С. П.*, Справочник по материалам деталей сельскохозяйственных машин, Машгиз, 1949.
11. *Смирягин А. П.*, Промышленные цветные металлы и сплавы, Металлургиздат, 1956.
12. *Портной К. И., Лебедев А. А.*, Магниевые сплавы, Металлургиздат, 1952.
13. *Ассонов А. Д., Кунявский М. Н., Лахтин Ю. М.*, Технология термической обработки, Заочные курсы усовершеиствования инженеров-термистов и металловедов, Машгиз, 1952.
14. *Самохоцкий А. П.*, Стали, примеияемые для ремонта станочного оборудования, ИТЭИН, 1943.
15. Спутник химика, Машгиз, 1951.
16. *Гуляев А. П.*, Термическая обработка стали, Машгиз, 1953.
17. *Рустем А. С., Гаращенко А. П.*, Оборудование термических цехов, Машгиз, 1957.
18. *Лепеха А. Е.*, Пламенная поверхностная закалка стали, Машгиз, 1955.
19. *Гардин А. И.*, Нагрев токами высокой частоты, Министерство транспортного машиностроения, 1949.
20. *Кидин И. Н.*, Термическая обработка стали при индукционном нагреве, Металлургиздат, 1950.
21. *Бессонов В. Д.*, Термическая обработка штамповых сталей для холодной штамповки, Сб. «Термическая обработка металлов», УРАЛНИТОМАШ, Машгиз, 1950.
22. *Терехов К. И., Минкевич А. Н.*, Цианированные стали, Заочные курсы усовершенствования инженеров-термистов и металловедов, Машгиз, 1951.
23. Металловедение и термическая обработка стали и чугуна, Справочник, Металлургиздат, 1957.

24. Жидкая цементация в бесцианистых солях, УКРНИИМЕСТПРОМ, Информационное письмо № 267.
25. Диаграммы допустимых температур нагрева при высокочастотной закалке, «Металловедение и обработка металлов», 1955, № 2.
26. *Шепеляковский К. З.*, Высокочастотная поверхностная закалка стали в машиностроении, Трудрезервиздат, 1955.
27. *Соколов К. Н.*, Технология термической обработки стали, Машгиз, 1954.
28. *Доронин В. М.*, Термическая обработка углеродистой и легированной стали, Металлургиздат, 1955.
29. Новые методы термической обработки в расплавленных солях, щелочах. Сборник статей, Горьковское книжное издательство, 1955.
30. *Калинин А. Г., Кунявский М. Н., Зайцева А. Я.*, «Металловедение и обработка металлов», 1956, № 11.
31. *Королев Г. Г.*, Термическая обработка режущего инструмента в атмосфере пара, Издание Московского Дома научно-технической пропаганды, 1957.
32. *Чириков В. И.*, Исходные данные для выбора режима цементации и термическая обработка цементованных деталей. Издание Московского Дома научно-технической пропаганды, 1957.
33. *Чипиженко А. И.*, Новые марки бериллиевых бронз ЦИИН, МЦМ. Бюллетень № 7/84, 1957.
34. *Минкевич А. Н.*, Химико-термическая обработка стали, Машгиз, 1950.
35. *Панченко Г. В.* и др. Лаборатория металлографии, Металлургиздат, 1957.
36. *Мотт Б. В.*, Испытание на твердость микровдавливанием, Металлургиздат, 1960.
37. *Еремин Н. И.*, Новое в магнитной порошковой дефектоскопии. Сб. «Новые методы контроля и дефектоскопии в машиностроении», Киев, 1958.
38. *Карякин А. В.*, Люмииесцентная дефектоскопия, Оборонгиз. 1959.
39. *Хелимский И. Е.*, Предупреждение и исправление брака при термической обработке режущих инструментов, МАП, 1957.
40. Пламенная поверхностная закалка. Вып. 17, ВНИИавтоген, Машгиз, 1959.
41. *Горбульский И. Я., Иванов В. А.*, Индукционная закалка автотракторных деталей, Машгиз, 1955.
42. *Головин Г. Ф., Замятин М. М.*, Высокочастотная термическая обработка, Машгиз, 1959.
43. *Лозинский М. Г.*, Промышленное применение индукционного нагрева, АН СССР, 1958.
44. *Каменичный И. С.*, «Металловедение и термическая обработка металлов», Машгиз, 1960, № 7.
45. *Погодин-Алексеев Г. И., Земсков Г. В.*, Газовая цементация стали, Машгиз, 1957.
46. *Берлин А. З., Лесных Д. С.*, «Металловедение и термическая обработка металлов», 1961, № 3.
47. *Лященко С. В.*, Прогрессивные методы термической обработки на Минском тракторном заводе ЛДНТП, 1960.
48. *Тарасов А. М., Семенченко М. Р.*, «Металловедение и обработка металлов», 1958, № 9.
49. *Юрьев С. Ф., Гинзбург С. К.* «Металловедение и термическая обработка металлов», 1959, № 8.

50. Технологическое оборудование и процессы, рекомендуемые для централизованного изготовления и широкого внедрения, часть III, ЦБТИ, 1961.
51. Электронагреватели трубчатые, каталог 6195.
52. *Червяков Ф. Я.*, Выбор стали для деталей горных машин и их термическая обработка, Углетехиздат, 1954.
53. Повышение стойкости деталей машин, Сборник, Машгиз, 1959.
54. *Крымский И. И.*, Очистные операции в кузнечно-штамповочных цехах, Машгиз, 1960.
55. *Красильщиков З. Н.* и др., Термическое упрочнение незакаливающейся углеродистой стали, Машгиз, 1960.
56. *Артемьев Ф.В.*, *Лихштейн И. М.*, «Вестник машиностроения», 1961, № 2.
57. Справочник по машиностроительным материалам т. 1, 2, 3, Машгиз, 1959.
58. *Миронов К. А.*, *Шипетин Л. И.*, Теплотехнические измерительные приборы, Машгиз, 1959.
59. *Калинин А. И.*, Применение контролируемых атмосфер при термической обработке, Центральный институт научно-технической информации, 1961.
60. *Вебер А. Д.*, *Гочкис Х. М.*, Защитные атмосферы, Машгиз, 1959.
61. *Колобнев И. Ф.*, Термическая обработка алюминиевых сплавов, Металлургиздат, 1961.
62. *Михайлов-Михеев П. Б.*, Металлы газовых турбин, Машгиз, 1958.
63. Инструментальные стали, Справочник, Машгиз, 1961.
64. *Стародубов К. Ф.*, *Львов Г. К.* и др., Методическое пособие и краткий справочник по дипломному проектированию для студентов специальности металловедение, оборудование и технология термической обработки стали. Министерство высшего и среднего специального образования УССР, 1959.
65. Терминология теории упругости, испытаний и механических свойств материалов и строительной механики, АН СССР, 1952.
66. *Рывкин И. Г.*, Рациональные режимы термообработки сверл малых диаметров, работающих в трудных условиях, ЛДНТП, 1959.
67. *Головин Г. Ф.*, *Зимин Н. В.*, Сб., «Промышленное применение токов высокой частоты в электротермии», Машгиз, 1961.
68. Трехступенчатый процесс азотирования крупных шпинделей металлорежущих станков, МБТИ, Министерство станкостроительной и инструментальной промышленности, 1956.
69. *Каменичный И. С.*, Краткий справочник термиста, Машгиз, 1960.
70. *Мишин В. М.*, *Лавров Н. П.*, *Ковалева А. А.* и *Кукушкина Г. П.*, Светлая закалка стальных изделий, ЛДНТП, 1959.
71. *Ерохин А. П.*, *Самохин И. П.*, Механизация и автоматизация в термических цехах, Машгиз, 1953.
72. *Сергейчев И. М.*, *Печковский А. М.*, Термическая обработка режущего и измерительного инструмента, Машгиз, 1960.
73. Справочник по технике безопасности и промышленной санитарии, Судпромгиз, 1959.
74. Нормирование расхода материалов в машиностроении, Справочник, т. 2, Машгиз, 1961.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Отдел, цех	Технологическая карта процесса термообработки	Кол. листов	Лист №

Эскиз	Шифр изделия	Наименование детали	№ детали
	Технические условия	Материал	Вес детали в *кГ*
		№ извещения / Изменение	Дата / Подпись

№ п.п	Наименование операций	Оборудование, шифр, инвент. №	Приспособление или инструмент	Количество деталей в садке	Нагрев		Охлаждение			
					Температура в °С	Общее время в *мин*	Охлаждающая среда	Температура в °С	Время выдержки в *мин*	Способ

Примечение.

Составил | Проверил | Главный металлург

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Отдел, цех	Карта технологического процесса термообработки ТВЧ	Шифр изделия	Лист №

Эскиз	Материал	Вес в *кГ*	Наименование детали	№ детали
	Оборудование		Т. У.	
	Индуктор Приспособление			
	Настройка машинного генератора		Настройка лампового генератора	
	Напряжение в *в*		Напряжение в *в*	
	Сила тока возбуждеиия в *а*		Анодный ток в *а*	Сеточный ток в *а*
	Емкость конденсаторной батареи		Емкость закалочного контура	

№ извещения	Измеие-ние	Дата	Подпись

cos φ	Мощность а *квт*	Положение рукояток: сеточной саязи	гридлика	анода
Прочие		Прочие		

Способ нагрева	Нагрев под закалку			Охлаждение			Отпуск		Вспомогательные операции	
	Температура в °С	Скорость передвижения в *мм/сек*	Время в *сек*	Среда	Температура в °С	Время в *сек*	Температура в °С	Время в *час*	Название операции	Время в *мин*

Примечание

Составил		Проверил		Главный металлург	

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Завод цех	Техиологическая карта на газопламенную поверхностиую закалку	Заказ ——— Изделие ——— № детали ———

Наимеиование детали

Материал	Техиические условия
Характеристика закаливаемой поверхности	
Эскиз	

Режим закалки

Тип горелки	Форма наконеч-ника	Давление кислорода в *кГ/см²*	Давление газа в *кГ/см²*	Скорость закалки в *мм/мин*	Давление охлажда-ющей сре-ды в *кГ/см²*	Темпера-тура ох-лаждаю-щей среды в °С

Способ закалки	Режим отпуска
Необходимая оснастка	Технологические указания

	Составил		Проверил	
	Дата	Подпись	Дата	Подпись

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Участок, цех	Групповая карта технологического процесса термической обработки по изделиям и операциям	Лист.	Листов

Операция термической обработки

Шифр изделия	№ детали	Наименование	Материал	Габариты в *мм*	Вес в *кГ*	Оборудование	Максимальное количество деталей в садке	Температура нагрева в °С	Общее время нагрева и выдержки в *ч*	Способ охлаждения	Технические требования

№ извещ.	Изменение	Дата	Подпись

Составил		Проверил	Главный металлург

Примечание. Групповая карта составляется на операции термической обработки, заканчивающиеся за один нагрев.

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Шкала хрупкости азотированного слоя

Группа	Вид отпечатков по Викерсу	Определение	Примечание
I		Нехрупкие	Во всех случаях допустимы
II		Слегка хрупкие	
III		Хрупкие	Недопустимы на шлифованных поверхностях
IV		Очень хрупкие	Во всех случаях недопустимы

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3
Глава I. **Общие сведеиия** 5
1. Механические величины 5
2. Тепловые величины 6
3. Электрические и магнитные величины 6
4. Связь между единицами измерений 7
Глава II. **Коитроль качества металлов** 17
1. Испытание металлов на твердость 18
2. Методы выявления наружных и внутренних дефектов в металлах 30
3. Определение прокаливаемости конструкционной стали (ГОСТ 5657-51) 35
4. Определение величины аустенитного зерна стали 38
5. Примерное определение состава стали 38
Глава III. **Сталь — состав и свойства** 40
1. Атомное строение железа 40
2. Диаграмма состояния железо — углерод 41
3. Легирующие элемеиты и их влияние на свойства стали . . 46
4. Химический состав и механические свойства сталей и сплавов в состоянии постановки 46
Глава IV. **Термическая обработка стали** 80
1. Нагрев 80
2. Окисление и обезуглероживание при нагреве 82
3. Отжиг 85
4. Нормализация 88
5. Закалка 88
6. Отпуск 105
7. Улучшение 106
8. Патентирование 107
Глава V. **Химико-термическая обработка стали** 108
1. Цементация 108
2. Азотирование 116
3. Цианирование 119
4. Алитироваиие 124
5. Сульфидирование 125
6. Очистка и травление изделий после термической обработки 126
7. Антикоррозиоиная обработка изделий после термической обработки 128
Глава VI. **Техиология термической обработки** 129
1. Ориентировочные режимы термической обработки и механические свойства сталей разных марок 129
2. Практические указания по термической обработке инструмента 152
3. Технология термической обработки некоторых деталей мащин 182

Глава VII. **Чугуи — состав, свойства и термическая обработка** 190
1. Химический состав и механические свойства чугунов . . 190
2. Термическая и химико-термическая обработка чугуна. 191
3. Контроль закаленных чугунных изделий на твердость . . 201

Глава VIII. **Медь, никель и их сплавы** 202
1. Медь и ее сплавы 202
2. Никель и его сплавы 205

Глава IX. **Магний, алюминий, титан и их сплавы, цинк и серебро** 210
1. Магний и его сплавы 210
2. Алюминий и его сплавы 210
3. Титан и его сплавы 223
4. Цинк 223
5. Серебро 223

Глава X. **Оборудоваиие, топливо и материалы** 229
1. Оборудование 229
2. Огнеупорные материалы 251
3. Топливо 254
4. Приборы для контроля температур 254

Глава XI. **Справочные даиные для проектирования термических цехов и участков** 265
1. Расчет производственной программы и требуемого оборудования 265
2. Планировка оборудования 273
3. Технические расчеты 273
4. Расчет количества рабочей силы 275

Литература 277

Приложения 280

Иосиф Соломонович Каменичный

Краткий справочник технолога-термиста

Техн. редактор *М. С. Горностайпольская.* Корректоры *Л. С. Комарова* и *Р. С. Коган*

Подписано к печати 18/XII 1962. Формат 84×108/32. Физ. печ. л. 9. Усл. печ. л. 14,76. Уч.-изд. л. 14,61. БФ 39518. Тираж 32000. Зак. № 138. Цена 88 коп.
Южное отделение Машгиза, Киев, ул. Парижской коммуны 11.

Напечатано с матриц Кн.-журн. ф-ки в Книжной тип. № 3 Главполиграфиздата Министерства культуры УССР. Кнев, Золотоворотская, 11.