И.С. Каменичный

СПУТНИК ТЕРМИСТА

6П4.5(083)
К18

УДК 621.78

Спутник термиста. Изд. 2-е, испр. и доп. Каменнчиый И. С. Киев, «Техніка», 1978. 230 с.

В справочнике приведены данные о технологнческих процессах термической и химико-термической обработки изделий нз черных и цветных металлов, о режимах обработки деталей машин и ииструмента, о профилактике брака. Даны рекомендацин по выбору металла для нзготовления термически обрабатываемых деталей и по назначению технических условий иа них. Рассчитан на квалнфицироваиных рабочих и может быть полезен мастерам, техиологам-термистам, а также конструкторам и техиологам-машиностроителям в повседневной работе при решении вопросов, связанных с термической обработкой.

Табл. 104. Ил. 24. Список лит.: 11 назв.

Рецензенты *Ф. Е. Штыка,* канд. техн. иаук *Б. Б. Винокур*

Редакция литературы по машиностроению н транспорту
Зав. редакцией *М. А. Василенко*

К $\frac{31103\text{-}112}{М202(04)\text{-}78}$ 76-78

© Издательство «Техніка», 1978

Предисловие

На XXV съезде КПСС поставлена задача значительно улучшнть качество выпускаемых машин, оборудования и приборов, повысить их техиический уровень, производительиость, надежность и безопасность в эксплуатации.

Значительное количество металлических деталей, из которых изготовляются машины, оборудование и приборы, подвергаются термической обработке, прн этом, чем ответственнее машина, тем большее число в ней термически упрочияемых деталей. Качество этих деталей — их прочиость, износостойкость, пластичность, усталостиая прочность и, в конечном итоге, надежность и долговечность — определяется выбором материала деталей, техиологии их изготовления и техиических условий на термическую обработку. Чтобы получить иаилучшую структуру металла, обладающую оптимальными для даниого коикретного случая свойствами, необходимо знать, как влияет величииа зериа и прокаливаемость на качество

деталей, какие способы термической обработки обеспечивают требуемые механические свойства, какие режимы позволяют получить наилучшее сочетание прочности и пластичности при улучшении. Необходимо также знать, в каких случаях требуется термическая обработка чугунных отливок, а в каких она не нужна.

Автор поставил своей целью помочь термистам правильно выбрать параметры технологических процессов термической и химико-термической обработки металлов. Работникам технических отделов книга поможет ориентироваться в определении технических условий для термически обрабатываемых деталей.

После выхода первого издания настоящей книги изменилось значительное количество ГОСТ на черные и цветные металлы. В связи с этим материал многих таблиц обновлен и дополнен. Кроме того, подробно описан новый прогрессивный процесс — жидкостное азотирование, введен раздел о поведении металлов в условиях низких температур и влиянии термической обработки.

Отзывы и пожелания просим направлять по адресу: *252601, Киев, 1, ГСП, Крещатик, 5, издательство «Техніка».*

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА МЕТАЛЛОВ

Определение твердости металлов

Измереиие твердости по Брииеллю на приборе ТШ (по ГОСТ 13406—67). Условия испытания твердости по Бринеллю приведеиы в табл. 1. При определении твердости место испытаиий необходимо зачистить для удаления окалиины и обезуглероженного слоя. На поверхности цилиндрических деталей в месте испытания делают лыску.

1. Условия испытания твердости по Бринеллю

Материал	Твердость, кгс*/мм²	Толщина испытуемого металла, мм	Диаметр шарика, мм	Нагрузка** P, кгс	Время выдержки под нагрузкой, с
Черные металлы	150—450	Более 6	10	3000	10
		3—6	5	750	
		Менее 3	2,5	187,5	
	Менее 150	Более 6	10	1000	10
		3—6	5	250	
		Меиее 3	2,5	62,5	

Продолжение табл. 1

Материал	Твердость, кгс*/мм²	Толщина испытуемого металла, мм	Диаметр шарика, мм	Нагрузка** P, кгс	Время выдержки под нагрузкой, с
Медь, латунь, бронза, магниевые и алюминиевые сплавы	Более 35	Более 6 3—6 Менее 3	10 5 2,5	1000 250 62,5	30
Алюминий, подшипниковые сплавы	8—35	Более 6 3—6 Менее 3	10 5 2,5	250 62,5 15,6	60

* кгс ≈ 9,8 Н.

** Нагрузки 62,5 и 15,6 кгс на приборе ТШ отсутствуют. Испытание при этих нагрузках производится на приборе ТП. При этом надо сменить алмазную пирамиду на шарик диаметром 2,5 или 5 мм.

Металл с твердостью выше *НВ* 450 проверять способом Бринелля нельзя в связи с возможной деформацией шарика. Деформированный шарик вносит погрешность в результаты испытаний.

Измерение твердости по Роквеллу на приборе ТК (по ГОСТ 13407—67). Условия испытания твердости по Роквеллу приведены в табл. 2. При необходимости проверки твердости деталей диаметром меньше 15 мм следует пользоваться таблицей поправок (табл. 3).

Для измерения твердости тонких термически обработанных деталей или упрочненных слоев небольшой глубины применяют прибор «Супер-Роквелл» (по ГОСТ

2. Условия испытания твердости по Роквеллу

Материал	Примерная твердость по Бринеллю, *HB*	Наконечник	Нагрузка, кгс	Обозначение твердости по Роквеллу	Рабочие пределы шкалы	Шкала
Сталь отожженная, латунь, бронза, алюминиевые и магниевые сплавы	60—240	Стальной шарик диаметром 1,59 мм	100	*HRB*	25—100	*B* (красная)
Закаленные сталь и чугун, чугун отбеленный	Свыше 240	Алмазный конус	150	*HRC*	Свыше 24	*C* (черная)
Пластины закаленные толщиной до 1 мм, цементированные и азотированные изделия, твердые сплавы	Свыше 240	Алмазный конус	60	*HRA*	Свыше 63	*A* (черная)

12165—66), который обеспечивает измерение твердости алмазным наконечником при трех нагрузках — 15,30 и 45 кгс (шкалы 15 *N*, 30 *N* и 45 *N*). При выборе нагрузки в зависимости от толщины термически обработанной детали можно пользоваться данными, приведенными в табл. 4.

3. Поправки, которые необходимо добавить к числу твердости *HRC* цилиндрической поверхиости изделий, измерениому на приборе ТК по Роквеллу

Диаметр изделия, мм	Твердость *HRC*					
	58	59	60	61	62	63
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

4. Шкалы, примеияемые при измереиии твердости по Роквеллу тонких деталей

Толщина, мм	Шкала для термически обработанной стали	Толщнна, мм	Шкала для термически обработанной стали
0,25 - 0,38	15*N*	0,65—0,9	*A*
0,38—0,65	30*N*	⩾0,9	*C*

Примечание. Измерение твердости стальиых изделий тоньше 0,25 мм следует производить на прнборе типа ТП с помощью алмазной пирамиды или на приборе типа ПМТ (в зависимостн от толщины изделня).

Измереиие твердости по Виккерсу (по ГОСТ 13408—67) иа приборе ТП (табл. 5, 6).

5. Рекомеидуемые нагрузки, кгс, при измерении твердости *HV* по Виккерсу на прнборе ТП (по ГОСТ 13408—67)

Толщина образца, мм	Твердость *HV*			
	20—50	50—100	100—300	300—900
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	Свыше 20	Свыше 30	Свыше 50	—

6. Число твердости *HV* при измерении по Виккерсу

Диагональ отпечатка, мм	Нагрузка, кгс				Диагональ отпечатка, мм	Нагрузка, кгс			
	5	10	20	30		5	10	20	30
0,10	927	—	—	—	0,23	175	351	701	1052
0,11	766	1533	—	—	0,24	161	322	644	966
0,12	644	1288	—	—	0,25	148,3	297	593	890
0,13	549	1097	—	—	0,26	137,2	274	549	823
0,14	473	946	—	—	0,27	127,2	254	509	763
0,15	412	824	1649	—	0,28	118,3	236	473	710
0,16	362	724	1449	—	0,29	110,3	221	441	661
0,17	321	642	1283	—	0,30	103	206	412	618
0,18	286	572	1145	—	0,31	96,5	193	386	579
0,19	257	514	1027	1541	0,32	90,6	181	362	543
0,20	232	464	927	1391	0,33	85,2	170	341	511
0,21	210	421	841	1261	0,34	80,2	160	321	481
0,22	192	383	766	1149	0,35	75,7	151,4	303	454

Продолжение табл. 6

Диагональ отпечатка, мм	Нагрузка, кгс				Диагональ отпечатка, мм	Нагрузка, кгс			
	5	10	20	30		5	10	20	30
0,36	71,6	143,1	286	429	0,39	61,0	121,9	244	366
0,37	67,7	135,5	271	406	0,40	58,0	115,9	232	348
0,38	64,2	128,4	257	385					

Примечание. Настоящая таблица составлена для иаиболее часто применяемых нагрузок и диапазонов твердостей. Более подробная таблица приведена в ГОСТ 13408—67.

Измереиие микротвердости иа прнборах ПМТ-2 и ПМТ-3 (по ГОСТ 10717—64) при нагрузках от 2 до 200 гс применяют в тех случаях, когда при других видах нспытаиий деталь продавливается. Число микротвердости обозначается буквой H с указанием нагрузки — H_{50}, H_{200}.

7. Число микротвердости при

Диагональ отпечатка, мкм	Диагональ отпе			
	0	1	2	3
0	—	—	—	—
10	1850	1530	1290	1100
20	464	420	383	350
30	206	193	181	170
40	116	110	105	100
50	74,2	71,3	68,6	66,0

В табл. 7 приведены результаты испытаний на микротвердость при нагрузке 100 гс. Пересчет на другие нагрузки производится по формуле

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

где p — заданная нагрузка; H_{100} — твердость при нагрузке 100 гс, соответствующая полученной длине отпечатка в микронах.

Пример. При испытании под нагрузкой 20 гс длина отпечатка составляет 25 мкм. Твердость при нагрузке 100 гс при такой же длине диагонали — 297.

При пересчете

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

Определение твердости напильником. Инструменты и изделия, твердость которых нельзя проверить на приборах с алмазным наконечником (метчики, развертки, сверла, инструменты малых размеров), проверяются с помощью тарированных личных напильников по эталонам твердости, которые представляют собой набор закаленных колец различной твердости от 45 до 63 с интервалами че-

нагрузке 100 гс, кгс/мм²

чатка, мкм					
4	5	6	7	8	9
—	7420	5150	3780	2900	2290
946	824	724	642	572	514
322	297	274	254	236	221
160	151	143	135	128	122
95,8	91,6	87,6	84,0	80,5	77,2
63,6	61,3	59,1	57,1	55,1	53,3

8. Соответствие между числами твердости, определяемыми различными методами

Твердость по Бринеллю *HB*		Твердость по Роквеллу *HR*			Твердость по Виккерсу	Твердость упругой отдачи по Шору	Твердость, определяемая на „Супер-Роквелле" алмазным наконечником по шкале		
		Шкалы							
Диаметр отпечатка, мм	Число твердости, кгс/мм²	*C*	*A*	*B*	*HV*	*HS*	15*N*	30*N*	45*N*
2,20	780	72	89	—	1224	—	—	—	—
2,25	745	70	87	—	1116	—	—	—	—
2,30	712	68	86	—	1022	—	93,2	84,4	75,4
2,35	682	66	85	—	941	90	92,5	82,8	73,3
2,40	653	64	84	—	868	86	91,8	81,1	71,0
2,45	627	62	83	—	804	84	91,1	79,3	68,8
2,50	601	60	82	—	746	81	90,2	77,5	66,6
2,55	578	58	81	—	694	78	89,3	75,7	64,3
2,60	555	56	79	—	649	75	88,3	73,9	62,0
2,65	534	54	78	—	606	71	87,4	72,0	59,8
2,70	514	52	77	—	587	69	86,4	70,2	57,4
2,75	495	50	76	—	551	66	85,5	68,5	55,0
2,80	477	49	76	—	534	65	85,0	67,6	53,8
2,85	461	48	75	—	502	64	84,5	66,7	52,5
2,90	444	46	74	—	473	61	83,5	64,8	50,3
2,95	429	45	73	—	460	59	83,0	64,0	49,0
3,00	415	44	72	—	435	58	82,5	63,1	47,8
3,02	409	43	72	—	423	57	82,0	62,2	46,7
3,05	401	42	71	—	412	56	81,5	61,3	45,5

3,10	388	41	71	—	401	55	80,9	60,4	44,3
3,15	375	40	70	112	390	53	80,4	59,5	43,1
3,20	363	39	70	—	380	52	79,9	58,6	41,9
3,25	352	38	69	111	361	51	79,4	57,7	40,8
3,30	341	37	68	—	344	50	78,8	56,8	39,6
3,35	331	36	68	109	335	49	78,3	55,9	38,4
3,40	321	35	67	—	320	48	77,7	55,0	37,2
3,45	311	34	67	108	312	47	77,2	54,2	36,1
3,50	302	33	67	—	305	46	76,6	53,3	34,9
3,55	293	31	66	106	291	43	75,6	51,3	32,5
3,60	286	30	66	—	285	42	75,0	50,4	31,3
3,65	277	29	65	—	278	41	74,5	49,5	30,1
3,70	269	28	65	105	272	40	73,9	48,6	28,9
3,75	262	27	64	—	261	39	73,3	47,7	27,8
3,80	255	26	64	103	255	38	72,8	46,8	26,7
3,85	248	25	63	—	250	37	72,2	45,9	25,5
3,90	241	24	63	100	240	36	71,6	45,0	24,3
3,95	235	23	62	99	235	35	71,0	44,0	23,1
4,00	228	22	62	98	226	34	70,5	43,2	22,0
4,05	223	21	61	97	221	33	69,9	42,3	20,7
4,10	217	20	61	97	217	33	—	—	—
4,15	212	19	60	96	213	32	—	—	—
4,20	207	18	60	95	209	32	—	—	—
4,25	202	16	59	94	201	31	—	—	—
4,30	196	15	58	93	197	31	—	—	—
4,35	192	15	58	92	190	30	—	—	—
4,40	187	—	57	91	186	—	—	—	—
4,45	183	—	56	89	183	—	—	—	—
4,50	179	—	56	88	177	—	—	—	—
4,55	174	—	55	87	174	—	—	—	—
4,60	170	—	—	86	171	—	—	—	—
4,65	166	—	—	85	165	—	—	—	—
4,70	163	—	—	84	162	—	—	—	—
4,75	159	—	—	83	159	—	—	—	—

Продолжение табл. 8

Твердость по Бринеллю *HB*		Твердость по Роквеллу *HR*			Твердость по Виккерсу	Твердость упругой отдачи по Шору	Твердость, определяемая на „Супер-Роквелле" алмазным наконечником по шкале		
		Шкалы							
Диаметр отпечатка, мм	Число твердости, кгс/мм²	*C*	*A*	*B*	*HV*	*HS*	15*N*	30*N*	45*N*
4,80	156	—	—	82	154	—	—	—	—
4,85	153	—	—	81	152	—	—	—	—
4,90	149	—	—	80	149	—	—	—	—
4,95	146	—	—	78	147	—	—	—	—
5,00	143	—	—	76	144	—	—	—	—
5,05	140	—	—	76	—	—	—	—	—
5,10	137	—	—	75	—	—	—	—	—
5,15	134	—	—	74	—	—	—	—	—
5,20	131	—	—	72	—	—	—	—	—
5,25	128	—	—	71	—	—	—	—	—
5,30	126	—	—	69	—	—	—	—	—
5,35	124	—	—	69	—	—	—	—	—
5,40	121	—	—	67	—	—	—	—	—
5,45	118	—	—	66	—	—	—	—	—
5,50	116	—	—	65	—	—	—	—	—
5,55	114	—	—	64	—	—	—	—	—
5,60	112	—	—	62	—	—	—	—	—
5,65	109	—	—	61	—	—	—	—	—

рез 3—5 ед. Попеременной пробой напильником изделий и эталонов и сравнением усилий при опиловке с достаточной точностью определяют твердость.

В табл. 8 дано соответствие между числами твердости, определяемыми различными методами.

Ориентировочно временное сопротивление при растяжении $\sigma_в$ можно определить, умножив число твердости по Бринеллю *НВ* на коэффициенты, значения которых приводятся ниже:

Чугун	0,15
Незакаленные стали:	
высокопрочные	0,37
углеродистые	0,36
хромистые	0,35
хромоникелевые	0,34
хромомолибденовые	0,33
Аустенитные стали	0,45
Алюминиевые сплавы:	
литейные	0,25
деформируемые	0,38
Латунь	0,45
Титан, его сплавы	0,31

Пример. Для незакаленной углеродистой стали с твердостью *НВ* 217 временное сопротивление при растяжении

$$\sigma_в = 217 \times 0{,}36 = 78 \text{ кгс/мм}^2.$$

Определение дефектов на поверхности металлов

Звуковая проба. Разбраковку изделий на наличие трещин можно производить пробой на удар. Металлическим предметом ударяют по изделию, находящемуся на весу, или сбрасывают его на металлическую плиту. Изделие, имеющее трещину, при ударе издает глухой звук.

Проба керосином или горячим маслом заключается в том, что изделия погружают в керосин или нагретое масло на 10—15 мин, после чего обдувают песком или насухо вытирают тряпкой и натирают мелом. В местах трещин керосин или масло выступает в виде тонких полосок.

Проба краской. Изделие погружают в жидкость следующего состава (содержание компонентов указано в процентах по объему):

Керосин	65
Трансформаторное масло	30
Скипидар	5

В качестве красителя добавляют судан III, II или 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 с помощью пульверизатора) суспензию каолина в воде (600 г каолина на 1 л воды) Затем изделие сушат в струе воздуха. При наличии трещин выходящий из них раствор окрасит каолин в цвет красителя.

Выявление трещин и других дефектов в деталях методом глубокого травления. Стальные детали обрабатывают реактивами, составы которых приведены в табл. 9.

Для травления медных сплавов применяют либо 10—20%-ный водный раствор персульфата аммония, либо 10%-ный раствор перекиси водорода в насыщенном водном растворе аммиака, либо раствор хлорного железа (10 г) и соляной кислоты (30 $см^2$) в воде (120 $см^3$). Последний реактив применяется также для травления сплавов на никелевой основе.

Для травления дюралюминия применяют состав, состоящий из кислот: соляной — 16,5%, азотной — 16,5%, фтористоводородной — 4,5% и воды 62,5%. Реактив действует быстро, после травления изделие необходимо немедленно промыть и просушить.

Методом глубокого травления обычно проверяют только изделия, в которых предполагают наличие трещин, так как кислота растворяет поверхность металла, и размеры изделий могут уменьшиться.

9. Реактивы для глубокого травления сталей

Сталь	Кислота			Вода	Режим травления	
	HCl	HNO_3	H_2SO_4		Температура, °С	Время выдержки, мин
	% по объему					
Углероднстая	—	—	17	83	60	До 120
»	50	—	—	50	60–70	10—45
»	—	50	—	50	70–80	60—120
Легированная	17	—	33	50	До 100	20—60
»	66	—	10	24	95 - 98	20—120

Метод магнитной порошковой дефектоскопии. Стальное или чугуниое нзделие иамагничивают в дефектоскопе, после чего обливают его суспензией магнитного порошка в керосине или масле. При наличии трещин порошок оседает иа их краях. После проверки деталь размагничивают.

Магнитный порошок должен соответствовать АМТУ 306—51. В случае надобности порошок изготовляется по такому рецепту: мелко размолотый железный сурнк или охру размешивают с керосиом или маслом до получения кашицы средней густоты. Кашицу упаковывают в тигель или трубку, плотно закрывают, замазывают и выдерживают в печи прн температуре 600—800° С до полного сгорания керосина. Остывший магнитный порошок следует тщательно растереть с небольшим количеством керосина или масла до состояиия жидкой кашицы, после чего добавить керосин или масло из расчета 25—40 г порошка на 1 л суспензии.

В качестве водной магнитной суспензии для обнаружения очень тоиких трещин прнменяют не вызывающую коррозии жидкость КИО следующего состава:

Спирт денатурнрованный	400 мл
Вода	150 мл
Сода каустическая	40 г
Олеиновая кислота	120 мл
Нафтеновая »	200 мл

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

Метод люмииесцентной дефектоскопии. Применяется для выявления трещин в магнитных и немагнитных металлах н другнх материалах (иапример, изделия из пластмассы и т. п.)

Проверку пронзводят в следующем порядке. Обезжиреиное чистое изделие смачивают раствором (табл. 10), после чего выдерживают на воздухе в течение 10—15 мин. Затем изделне промывают сильиой струей воды в течеиие

10. Составы для смачиваиия изделий при выявлении трещии методом люминесцентной дефектоскопии

Компонент	Содержание, %, компонентов в смеси		
	1*	2	3
Керосин	50	75	85
Бензин	25	—	—
Трансформаторное масло (чистое)	25	—	15
Дефектоль зелено-золотистый *	0,02—0,3	—	—
Нориол	—	25	—

* При изготовлении состава 1 сиачала дефектоль растворяют в беизиие, затем доливают керосин, а потом — масло.

5—10 с. Для облегчения удаления раствора с изделия при промывке рекомендуется вводить в раствор 0,5% эмульгатора ОП-7 или ОП-10. Просушеиное изделие посыпают порошком, через 2—3 мин встряхивают или слегка обдувают для удаления лишнего порошка.

Для обсыпки применяют просушенные при 150° С силикагель, окись магния, маршалит и другие порошки, измельченные до зернистости 4—6 (ГОСТ 3647—71). После некоторой выдержки (не более 30 мин) изделие просматрнвают в ультрафиолетовых лучах прибора ЛД-4. При наличии трещин выходящий из них раствор смачивает силикагель, который светится ярче остальиой поверхности.

Определение химического состава стали по искре

Химический состав стали проверяют по искре в затемиенных местах, используя шлифовальные круги определенных характеристик (табл. 11). Для этого необходимо иметь иабор клеймеиных образцов, используемых заводом сталей в отожженном и закаленном состоянии. Сравнивая испытуемую деталь с образцами, можно с достаточной точностью определить марку стали.

11. Характеристика шлифовальиых кругов, примеияемых при определении марки стали по искре

Параметр круга	Поковка	Готовое изделие	Параметр круга	Поковка	Готовое нзделие
Диаметр, мм	300—500	150—200	Зернистость	36—40	60—80
Ширииа, мм	40—60	25—40	Твердость	СТ1	СТ1

Диаграмма состояния сплавов железо — углерод

На рис. 1 представлена диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов. Пользуясь этой днаграммой, можно определить крнтические точки превращений, а

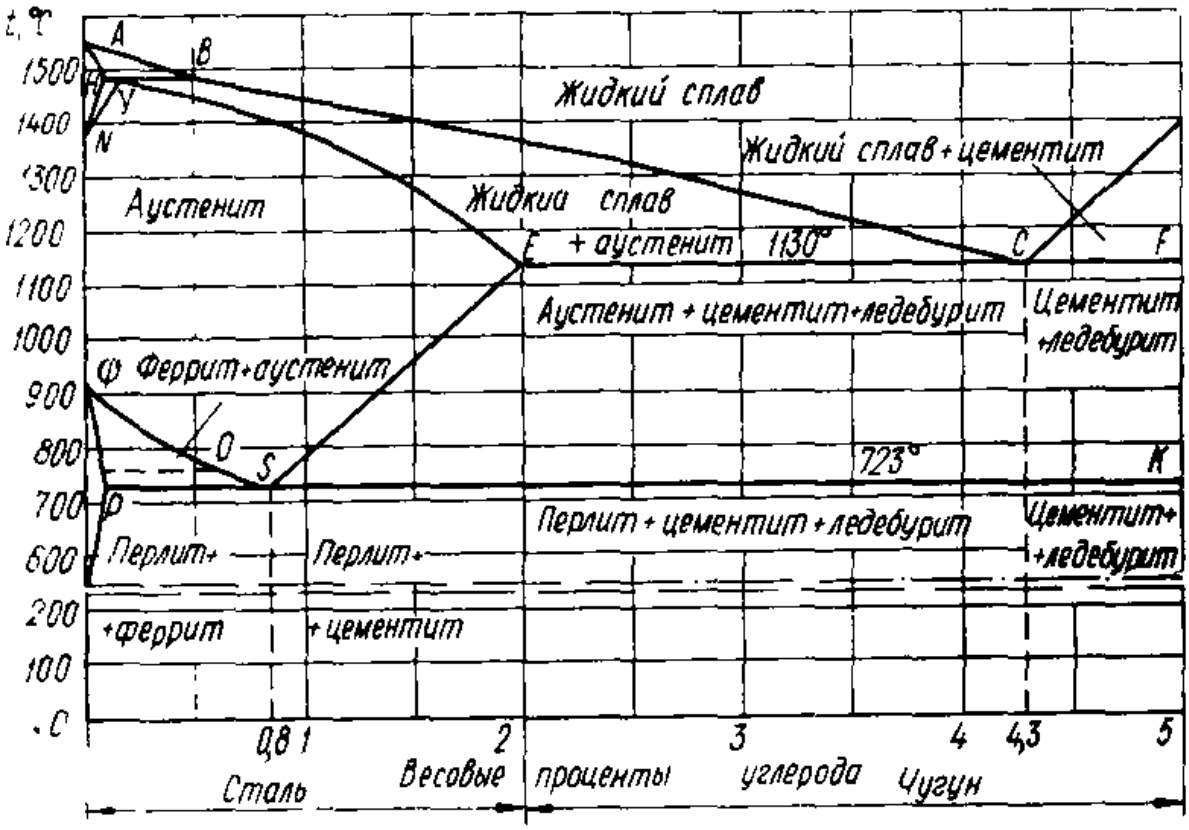


Рис. 1. Днаграмма состояния железоуглеродистых сплавов.

также структурное состояиие углеродистой стали и чугуна при любой температуре вплоть до жидкого при медлеином охлаждении и нагреваии.

Структура стали

В табл. 12 рассмотрены структуры сталей. В обычных сталях легирующие элемеиты находятся в виде твердого раствора в α-железе (легированный феррит) и в виде химических соединений с углеродом (карбиды). К первым относятся никель, кобальт, алюминий и кремний, а ко вторым — ниобий, титан, вольфрам, ванадий, молибден, хром и марганец. Карбидообразующие элементы могут также находиться и в феррнте. Чем более устойчнвый карбнд образует элемент, тем меньше этот элемент растворяется в феррите. При нагреве легирующие элементы переходят в аустенит, а при закалке — в мартенснт, соответственно изменяя их свойства по сравнеиию с такими же структурами углеродистых сталей.

Химический состав сталей и сплавов

Названия марок сталей, как правило, соответствуют нх химическому составу (табл. 13, 14). Буквы определяют элемент, а цифры — его примерное количество. Буква «А» в конце марки указывает на повышениое качество стали.

Постоянные примеси любой стали — марганец (0,3—0,8%), кремиий (0,15—0,4%), сера и фосфор (не более 0,04% каждого) — в маркировке не указывают. Марганец и кремний вписывают в тех случаях, когда их вводят специально в количествах бóльших, чем указано выше.

Химический состав сталей, названия марок которых построены по другому принципу, прнведены в табл. 15—21. Расшифровка марок сталей разлнчных ГОСТ приведена ниже.

Углеродистые конструкциоиные стали (по ГОСТ 1050—74). Цифры в начале названия указывают среднее содержание углерода в сотых долях процента. Если после буквы нет цифр, то это означает, что сталь содержнт около одного процента данного элемента.

Примеры расшифровки: 1. Сталь 45 — углерода 0,42—0,5%

Наименование	Определение	Условия образования
Аустенит	Твердый раствор углерода и других элементов в γ-железе. Содержит до 2,0% углерода	При затвердевании жидкого раствора с содержанием углерода не более 4,3%
Феррит	Твердый раствор углерода и других элементов в α-железе. Содержит до 0,006% углерода	При медленном охлаждении доэвтектондной стали ниже A_{r_3} выделяется из аустенита
Цементит	Химическое соединение железа с углеродом — карбид железа Fe_3C. Содержит 6,67% углерода	Первичный — из жидкого раствора прн содержании углерода свыше 4,3%; вторичный — из аустенита при медленном охлаждении
Перлит	Эвтектоидная смесь цементита с феррнтом	При медлеиием охлаждеиии аустенита в результате диффузии углерода
Мартенсит	Твердый раствор углерода и других элементов в α-железе с искажеиией тетрагоиальной решеткой	При охлаждении аустенита со скоростью выше критнческой

железоуглеродистых сплавов

	Температуры, при которых структуры устойчивы	Физические свойства	Твердость *НВ*
	Выше A_{C_3}, A_{C_m} и A_{C_1}	Мягок, немагнитен, тягуч, мало упруг. Обладает электрическим сопротивлеиием	170—220
	Ниже A_{C_3}	Мягок, очеиь тягуч, магнитен при температуре ниже точки Кюри	60—100
	»	Тверд, хрупок. Магнитеи до температуры 210° С. При нагреве выше 210° С становится иемагнитным	820
	Ниже 723°С	Более тверд и прочен, чем феррит, но менее пластичен. Магнитеи	160—230
	Ниже 150°С	Хрупок, тверд. Твердость зависит от содержания углерода. Магиитеи, теплопроводиостью и электропроводиостью обладает низкими	650—700

Наименование	Определение	Условия образования
Троостит	Высокодисперсная смесь феррнта и карбидов	При нагреве мартенсита до 250—400° С
Игольчатый троостит	То же	При нзотермическом превращеиии аустенита в пределах температур 250—400° С
Сорбит	Дисперсная смесь феррита и цемеитита	При нагреве мартенсита в пределах от 400° С до A_{C_1}
Ледебурит	Эвтектическая смесь аустенита и цемеитита прн температуре выше 723° С и перлита и цементита при температуре ииже 723° С. Содержит 4,3% углерода	Прн затвердевании жндкого сплава с содержанием углерода свыше 2,0%

Примечания: 1. Структуры сталей, состоящие бита, иазываются троостомартенситом и троостосорбитом ствами этих структур.

2. В некоторых марках сложнолегироваиной стали температуре.

Продолжение табл. 12

Температуры, при которых структуры устойчивы	Физические свойства	Твердость *HB*
Примерно до 500°С	Магиитен, несколько менее прочен, более пластичен и более электропроводен, чем мартенсит	350—450
До 500°С	Тверд, малопластичен. Магиитен	Свыше 350
До A_{C_1}	Пластичен и вязок. Прочнее и тверже троостита. Магнитен	230—320
Ниже 1130°С	Хрупок	900—1000

из мартеисита и троостита, а также из троостита и сор-
и обладают свойствами, промежуточными между свой-

(иержавеющая и т. п.) аустенит устойчив при комнатиой

13. Условиые обозиачения элемеитов, входящих в состав стали

Элемеит	Обозначение элемента в таблицах химического состава	Обозначение элемента, принятое в стандартах для маркировки стали	Элемент	Обозначение элемента в таблицах химического состава	Обозначение элемента, принятое в стандартах для маркировки стали
Алюминий	Al	Ю	Молибден	Mo	М
			Никель	Ni	Н
Бор	B	Р	Ниобий	Nb	Б
Ванадий	V	Ф	Сера	S	—
Вольфрам	W	В	Титан	Ti	Т
Кобальт	Co	К	Углерод	C	У
Кремний	Si	С	Фосфор	P	П
Маргаиец	Mn	Г	Хром	Cr	Х
Медь	Cu	Д	Цирконий	Zr	Ц

2. Сталь 65Г — углерода 0,62—0,7, марганца 0,9—1,2%.

Легированиые конструкциоиные стали (по ГОСТ 4543—71). Содержаиие углерода определяется так же, как и для углеродистой стали. Некоторые легнрующие элементы находятся в стали в незиачительиых колнчествах, а именно: бор (Р) — 0,002—0,005%, ванадий (Ф) — 0,1—0,2%, молибдеи (М) — 0,15—0,55%, титан (Т) — 0,06—0,12%, циркоиий (Ц) — 0,15—0,25%. Если после буквы, обозиачающей легирующий элемеит, нет цнфры, то это означает, что сталь содержит примерно 1% даниого элемеита.

Примеры расшифровки: 1. Сталь 18ХГТ — углерода 0,17—0,23%; хрома 1,0—1,3%; марганца 0,8—1,1%; тнтана 0,06—0,12%.

2. Сталь 25Х2Н4ВА — углерода 0,21—0,28%; хрома 1,35—1,65%; никеля 4,0—4,4%; вольфрама 0,8—1,2%.

Автоматные стали (по ГОСТ 1414—54). Сталь с повышенным содержанием серы (0,1—0,2%) и фосфора.

Пример расшифровки. Сталь А12· А — автоматная, 12 — углерода 0,08—0,016%.

Рессорио-пружиииые стали (по ГОСТ 2052—53). Химический состав марок сталей определяется так же, как для легированных сталей (по ГОСТ 4543—71).

Шарикоподшипниковые стали (по ГОСТ 801—60). Содержание углерода во всех четырех марках этой стали равно в среднем 1%. По цифрам после буквы Х определяют содержание хрома в десятых долях процента.

Пример расшифровки. Сталь ШХ15 — хрома 1,5%, углерода 0,95 — 1,05%.

Электротехнические иизколегироваиные стали (по ГОСТ 3836—73). Химический состав всех марок одииаков: $C \leqslant 0{,}04$; $Si \leqslant 0{,}3$; $Mn \leqslant 0{,}3$.

Магнитио-мягкие сплавы. Химический состав определяется по марке (табл. 18). Буквы указывают на иазвание, а цифры — на средиее содержаиие определяющего элемеита сплава.

Высокомарганцовистая аустеиитная сталь Г13 содержит углерода 1,01—1,3% и маргаица 10,0—14,0%.

Коррозиоииостойкие, жаростойкие и жаропрочные стали и сплавы (по ГОСТ 5632—61). Химнческий состав указанных, так же, как и других сталей, определяют по марке, однако следует учитывать некоторые особениости.

Отсутствие цифр в начале марки указывает на то, что содержаине углерода не превышает 0,15%, а иижний предел ие оговаривается. Цифра 0 указывает иа содержание углерода не выше 0,08%, а 00 — не выше 0,04%. Цифры в начале марки определяют среднее содержаиие углерода в десятых долях процента. Цифры после букв озиачают количество элемента в процентах. Отсутствие цифр после букв указывает, что сталь, как правило, содержит примерно один процент данного элемента.

Примеры расшифровки: 1. Сталь 15Х28 — углерода меньше 0,15%, хрома 27—30%.

2. Сталь 004Х18Н10 — углерода меньше 0,04%, хрома 17—19%, никеля 9—11%.

Углероднстая инструмеитальиая сталь (по ГОСТ 1435—54). Буква У в начале марки означает, что сталь

14. Влияиие легирующих элемеитов

Элемент	Склонность к перегреву	Прокаливаемость	Температура отжига, нормализации и закалки	Твердость и прочность	Пластические свойства
Алюминий	Значительио умеиьшает	Поинжает	Значительио повышает	Несколько повышает	Несколько повышает при малом содержании
Бор	Увеличивает	Увеличивает	Повышает	Повышает	Уменьшает
Ванадий	Заметно уменьшает	Незиачительно уменьшает	»	»	Повышает
Вольфрам	Умеиьшает	Увеличивает	»	»	Несколько повышает при содержании менее 1%
Кобальт	Мало влияет	Умеиьшает	Мало влияет	Слабо повышает	Мало влияет

на свойства стали

	Обезуглероживаемость	Отпускная хрупкость	Жаропрочность	Окалиностойкость	Коррозиестойкость	Цементуемость
	Увеличивает	Не влияет	Не влияет	Значительно повышает	Практически не влияет	Цемеитацию замедляет. Ускоряет азотирование
	»	Мало влияет	Повышает	Понижает	Ухудшает	Несколько ускоряет
	Не влияет	Уменьшает	Умеиьшает	Повышает	—	Мало влияет
	Увеличивает	»	»	»	Незначительно ухудшвет	Уменьшает глубину цемеитациониого слоя
	Увеличнвает	Не влияет	Повышает	Повышает в сочетании с хромом и иикелем	Повышает	Мало влняет

Элемент	Склонность к перегреву	Прокаливаемость	Температура отжига, нормализации и закалки	Твердость и прочность	Пластические свойства
Кремний	Мало влияет	Увеличивает	Повышает	Повышает	Поиижает
Марганец	Увеличивает	Увеличивает	Поиижает	"	Не сиижает до 1,5 % в малоуглеродистой стали
Молнбден	Мало влияет	Значительио увеличивает	Повышает	Повышает	Повышает при содержании до 0,6 %
Никель	"	Увеличивает	Понижает	"	Несколько повышает
Титан	Уменьшает	Умеиьшает	Зиачительио повышает	Несколько повышает	Несколько повышает

Продолжение табл. 14

Обезуглероживаемость	Отпускная хрупкость	Жаропрочность	Окалиностойкость	Коррозиестойкость	Цементуемость
Увеличивает	Несколько увеличивает	Незначительно повышает	Повышает	Повышает	Значительно умеиьшает
Не влияет	При содержании свыше 1,5 % повышает	Повышает в сочетаиии с хромом и никелем	Незначительно уменьшает	Мало влияет	Не влияет
Увеличивает	Умеиьшает	Повышает	Поиижает	Повышает	Не влияет
Не влияет	Не влияет	Повышает, способствуя образованию аустенита	Повышает совместио с хромом	„	Уменьшает
—	—	„	Поиижает	„	Незначительно уменьшает

Элемент	Склонность к перегреву	Прокаливаемость	Температура отжига, нормализации и закалки	Твердость и прочность	Пластические свойства
Хром	Несколько уменьшает	Увеличивает	Повышает	Повышает	Не снижает до 1,5 %

15. Химический состав углеродистой стали обыкновенного качества, поставляемой по группе Б (по ГОСТ 380—71)

Марка стали	Содержание элементов, %		
	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	„ „ 0,07	0,25—0,50
МСт. 3 кп	0,14—0,22	„ „ 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

Примечания: 1. Содержание фосфора в стали МСт. 0 допускается не более 0,07%, а для остальных марок — не более 0,045%, соответственно серы — 0,06 и 0,055%.

2. В таблице приведены составы сталей, выплавляемых в мартеновских печах. Составы сталей, выплавляемых в бессемеровских печах, см. ГОСТ 380—71.

Продолжение табл. 14

Обезуглероживаемость	Отпускная хрупкость	Жаропрочность	Окалиностойкость	Коррозностойкость	Цементуемость
Мало влияет	Незначительно увеличивает	Несколько увеличивает	Повышает	Повышает	Мало влияет

углероднстая, а цифра указывает на содержание углерода в десятых долях процента.

Пример расшифровки. Сталь У8А — углеродистая инструментальная сталь повышенного качества. Она содержнт 0,75—0,84% углерода.

Легированная инструментальная сталь (по ГОСТ 5950—73). Цнфры в начале марки соответствуют содержанню углерода в десятых долях процента. Прн отсутствии цифр в начале маркн илн после букв содержание углерода или данного элемента находится в пределах одиого процента. По цнфрам после букв определяют содержание элементов в процентах.

Примеры расшифровки: 1. Сталь 9ХС — углерода 0,85—0,95%; хрома 0,95—1,25%; кремння — 1,2—1,6%.

2. Сталь Х12Ф1 — углерода 1,45—1,7%; хрома — 11,0—12,5%; ванадия 0,7—0,9%.

Электротехиические стали (ГОСТ 3836—73) содержат меньше 0,04% С, 0,3% Si и 0,3% Мп. Марку стали определяют по коэрцитивной силе после отжига (табл. 20). Твердость различиых сталей в состоянии поставки приведена в табл. 22.

16. Хнмическнй состав магнитной стали в состояиии поставки (по ГОСТ 6862—71)

Марка стали	Содержанне элементов, %					
	C	Cr	W	Co	Mo	Прочие
ЕХ3	0,9—1,1	2,8—3,6	—	—	—	
Е7В6	0,68—0,78	0,3—0,5	5,2—6,2	—	—	Mn —0,2...0,4; Si —0,17...0,4; S ⩽ 0,02; P ⩽ 0,03
ЕХ5К5	0,90—1,05	5,5—6,5	—	5,5—6,5	—	
ЕХ9К15М	0,90—1,05	8,0—10,0	—	13,5—16,5	1,2—1,7	

Прнмечанне. Сталь, нмеющую отклонеиие по химическому составу, можно использовать прн условии соответствия всех свойств установленным для иее нормам.

17. Химический состав литых постоянных магнитов * (ГОСТ 17809—72), %

Марка	Al	Ni	Cu	Co	Прочие
ЮНД4	13—14	24,5—25	3—4	—	Ti 0,2—0,3
ЮНД8	10,8—11,3	28—28,4	7,8—8,2	—	
ЮНТС	13—16	32—35	—	—	Ti 0,4—0,5; Si 1—1,5
ЮНДКi5	8,5—9,5	19—20	3—4	—	—
ЮНДКi8	9—10	18—19	3—4	18—19	—
ЮНДК18С	6,5—7,5	14—15	1,5—2	18—20	—
ЮН13ДК24С	7,5—8	12—13	2—2,5	23,5—24,5	Si 0,4—0,5
ЮНi3ДК24	7,5—8,5	12,5—13,5	2,5—3,5	23,5—24,5	Si 0,15—0,25
ЮНi4ДК24	7,5—8,5	13,5—14,5	2,5—3,5	23,5—24,5	—
ЮН14ДК24Т2	8—9	14—15	3—4	23,5—24,5	Ti 1,5—2
ЮН13ДК25А	7,5—8	12,5—13,5	3—3,5	24—26	Ti 0,2—0,3
ЮН13ДК25БА	7,7—8,1	12,5—13	3—3,5	24—26	Ti 0,3—0,6 Nb 0,5—0,8
ЮНi4ДК25БА	8—8,5	13,5—14	3,5—4	24—26	Ti 0,2—0,3 Nb 0,5—1
ЮНi5ДК25БА	8,3—8,7	14,5—15	4—4,5	24—26	Ti 0,2—1,3 Nb 0,5—1
ЮНДКЗiТБА	6,8—7,2	13—13,5	3—3,5	30,5—31,5	Ti 3—3,5; Nb 0,9—1
ЮНДК34Т5	6,8—7,2	14—14,5	3—4	34—35	Ti 5—5,5
ЮНДК35Т5Б	6,8—7,2	14—15	3—4	34,5—35,5	Ti 5—5,5 Nb 0,8—1,1
ЮНДК35Т5БА	6,8—7,2	14—14,5	3,3—3,7	34,5—35,5	Ti 4—5; Nb 0,8—1,1
ЮНДК35Т5АА	7—7,5	14—14,5	2,5—3	34,5—35,5	Ti 5—5,5
ЮНДК38Т7	6,9—7,3	13,5—14	3,3—3,7	38—40	Ti 6,9—7,2
ЮНДК40Т8АА	7,2—7,7	14—14,5	3—4	39—40	Ti 7—8
ЮНДК40Т8	7,5—8,5	13,5—14,5	3—4	40—42	Ti 8—9

* Остальное — железо.

18. Химический состав магнитно-мягких сплавов (ГОСТ 10994—74*), %

Марка сплава	Cr	Ni	Mo	Co	Прочие
34НКМ	—	33,5—35	2,8—3,2	28,5—30	—
35НКХС	1,8—2,2	35—37	—	27—29	Si 0,8—1,2
40Н	—	39—41	—	—	—
40НКМ	—	39,3—40,7	3,8—4,2	24,5—26	—
45Н	—	45—46,5	—	—	—
47НК	—	46—48	—	22,5—23,5	—
47НКХ	1,8—2,2	46—48	—	21,5—22,5	—
47НД	—	46—48	—	—	Cu 4,5—5,5
50Н	—	49—50,5	—	—	—
50НХС	3,8—4,2	49,5—51	—	—	Si 1,1—1,4
52Н	—	51—53	—	—	—
64Н	—	63—65	—	—	—
68НМ	—	67—69	1,5—2,5	—	—
76НХД	1,8—2,2	75—76,5	—	—	Cu 4,8—5,2
77НМД	—	75,5—78	3,9—4,5	—	Cu 4,8—6
79НМ	—	78,5—80	3,8—4,1	—	—
79Н3М	—	78,5—80	3,0—3,4	—	—
80НХС	2,6—3	79—81,5	—	—	Si 1,1—1,5
80Н2М	—	79,6—81,2	2,5—2,8	—	—
36КНМ	—	21,5—22,5	2,8—3,2	35,5—37	—
49КФ2	—	—	—	48—50	V 1,3—1,8
50КФ	—	—	—	48—50	V 1,7—2,1
16Х	15,5—16,5	—	—	—	—

* Остальное — железо.

19. Электротехническая тонколистовая сталь (по ГОСТ 802—58)

Марка стали	Содержание кремния, %	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	Высоколегнрованная

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

20. Коэрцитивная сила электротехнической стали по маркам (ГОСТ 3836—73)

Марка	Коэрцитивная сила, Э	Марка	Коэрцитивная сила, Э	Марка	Коэрцитивная сила, Э
10 895	1,2	20 880	1,0	10 848	0,6
20 895	1,2	10 864	0,8	20 848	0,6
10 880	1,0	20 864	0,8	20 832	0,4

Примечание. Первой цифрой обозначают класс по структурному состоянию: 1 — горячекатаная; 2 — холоднокатаная; второй — содержание кремния; третьей — группу по основной нормируемой характеристике (8 — по коэрцитивной силе). Четвертый и пятый знаки — количественное значение нормируемой характеристики для наиболее широко применяемой толщины (для восьмой группы значение коэрцитивной силы приводится в целых амперах на метр для всех толщин).

21. Химический состав быстрорежущих сталей (ГОСТ 19265—73)

Марка стали	Содержание элементов, %					
	C	Cr	W	V	Co	Mo
Р18	0,7—0,8	3,8—4,4	17,0—18,5	1,0—1,4	—	1,0
Р12	0,8—0,9	3,1—3,6	12,0—13,0	1,5—1,9	—	1,0
Р9	0,85—0,95	3,8—4,4	8,5—10,0	2,0—2,6	—	1,0
Р6М3	0,85—0,95	3,0—3,5	5,5—6,5	2,0—2,5	—	3,0—3,6
Р6М5	0,8—0,88	3,8—4,4	5,5—6,5	1,7—2,1	—	5,0—5,5
Р18Ф2	0,85—0,95	3,8—4,4	17,0—18,0	1,8—2,4	—	1,0
Р14Ф4	1,2—1,3	4,0—4,6	13,0—14,5	3,4—4,1	—	1,0
Р9Ф5	1,4—1,5	3,8—4,4	9,0—10,5	4,3—5,1	—	1,0
Р18К5Ф2	0,85—0,95	3,8—4,4	17,0—18,5	1,8—2,4	5,0—6,0	1,0
Р10К5Ф5	1,45—1,55	4,0—4,6	10,0—11,5	4,3—5,1	5,0—6,0	1,0
Р9К5	0,9—1,0	3,8—4,4	9,0—10,5	2,0—2,6	5,0—6,0	1,0
Р6М5К5	0,80—0,88	3,8—4,3	6,0—7,0	1,7—2,2	4,8—5,3	1,0
Р9М4К8	1,0—1,1	3,0—3,6	8,5—9,6	2,1—2,5	7,5—8,5	3,8—4,3
Р9К10	0,9—1,0	3,8—4,4	9,0—10,5	2,0—2,6	9,0—10,5	1,0

Примечание. Содержание марганца во всех марках стали не должно превышать 0,4%, кремния — 0,5%.

22. Твердость сталей в состоянии поставки

Марка стали	Твердость *HB*	Марка стали	Твердость *HB*
Конструкционные стали			
Автоматные (по ГОСТ 1414—74)			
	Не более		
А12	160	А30	185
А20	168	А40Г	207
Углеродистые (по ГОСТ 1050—74)			
	Не более		
08 кп	131	75	241
10 кп	137	80	241
15 кп*	143	85	255
20 кп*	156	15Г	163
20*	156	20Г	197
25*	170	25Г	207
30*	179	30Г	187
35*	187	35Г	197
40	187	40Г	207
45	197	45Г	217
50	207	50Г	217
55	217	60Г	229
60	229	65Г	229
65	229	70Г	229
70	229		
Легированные (по ГОСТ 4543—71)			
10Г2	197	20Х	179
35Г2	207	30Х	187
40Г2	217	30ХРА	241
45Г2	229	35Х	197
50Г2	229	38ХА	207
15Х	179	40Х	217

Продолжение табл. 22

Марка стали	Твердость *НВ*	Марка стали	Твердость *НВ*
Легированные (по ГОСТ 4543—71)			
45Х	229	30ХН3А	241
50Х	229	38ХНВА	269
18ХГ	187	40ХНВА	269
18ХГТ	217	40ХНМА	269
20ХГР	197	30Х2НВА	269
30ХГТ	229	38ХН3ВА	269
40ХГ	229	18Х2Н4ВА	269
33ХС	255	25Х2Н4ВА	269
38ХС	255	30ХН2ВФА	269
40ХС	255	20ХН4ФА	269
15ХМ	179	38ХН3МФА	269
30ХМ	229	15ХГНТ	229
35ХМ	241	15Х2ГН2Т	269
15ХФ	187	38ХГН	229
40ХФА	241	20ХГСА	207
20ХН	197	25ХГСА	217
40ХН	217	30ХГСА	229
45ХН	207	30ХГСН2А	255
50ХН	207	35ХГСА	241
12ХН2	207	38Х2Ю	229
12ХН3А	217	38Х2МЮА	229
12Х2Н4А	269	38ХВФЮ	229
20Х2Н4А	269		
Рессорно-пружинные (по ГОСТ 14959—69)*			
	Не более	65Г	269
65	255	50С2	285
70	269	55С2	285
75	285	60С2	302
85	302	60С2А	302
55ГС	285	70С3А	302

Продолжение табл. 22

Марка стали	Твердость *HB*	Марка стали	Твердость *HB*
Рессорно-пружинные (по ГОСТ 14959—69)*			
50ХГ	302	60С2ХА	321
50ХГА	302	60С2ВА	302
50ХФА	302	60С2Н2А	302
50ХГФА	321	55ГС	285
60С2ХФА	302	60ГС	285
Шарикоподшипниковые (по ГОСТ 801—60)			
ШХ6	179—207	ШХ15	179—207
ШХ9	179—207	ШХ15СГ	179—217
Магнитные (по ГОСТ 6862—71)			
ЕХ3	229—285	ЕХ5К5	269—341
Е7В6	255—321	ЕХ9К15М	285—341
Инструментальные стали			
Углеродистые (по ГОСТ 1435—75)			
	Не более		
У7	187	У11	207
У8, У8Г	187	У12	207
У9	192	У13	217
У10	197		
Легированные (по ГОСТ 5950—73 и нормалям)			
7ХФ	229	ХВСГ	241—196
8ХФ	255	13Х	241—187
9ХФ	255	Х12	269—217
9Х1	217—179	В1	229—187
Х	229—187	4ХС	207—170

Продолжение табл. 22

Марка стали	Твердость *HB*	Марка стали	Твердость *HB*
Легированные (по ГОСТ 5950—73 и нормалям)			
6ХС	229—187	9ХВГ	241—197
9ХС	241—197	ХВГ	255—207
Х12Ф1	255—207	6ХВГ	217—179
9Х5ВФ	241—195	4Х8В2	255—207
8Х4В4Ф1(Р4)	255—217	ХВ4	285—229
4Х2В5ФМ	220—180	Х12М	255—207
4Х3В2Ф2М2	269—207	5ХНМ	241—197
4Х5В4ФСМ	255	5ХГМ	241—197
4Х5В2ФС	229—180	7Х3	229—187
Х6ВФ	228—187	8Х3	255—207
4ХВ2С	217—179	5ХНСВ	255—207
5ХВ2С	255—207	5ХНВ	255—207
6ХВ2С	285—229	9Х5Ф	241—195
Быстрорежущие (по ГОСТ 19265—73)			
Р18, Р12, Р9, Р6М3, Р6М5			⩽255
Р18Ф2, Р14Ф4, Р9Ф5, Р6М5К5, Р9К5, Р9К10			⩽269
Р18К5Ф2, Р10К5Ф5, Р9М4К8			⩽285

* Поставляются в неотожженном состоянии.

СПОСОБЫ И РЕЖИМЫ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛЕЙ

Нагрев под термическую обработку

23. Ориентировочное время нагрева изделий из углеродистых и легированных сталей в различных печах

Оборудование	Температура в печи, °С	Время нагрева 1 мм диаметра или толщины изделия с сечением		
		круглым	квадратным	прямоугольным
Печь:				
электрическая	600	80—100 с	100—120 с	120—150 с
"	800	40—50 с	50—60 с	60—75 с
нефтяная и газовая	800	35—40 с	45—50 с	55—60 с
Ванна:				
соляная	800	12—15 с	15—18 с	18—22 с
свинцовая	800	6—8 с	8—10 с	10—12 с
соляная	1050	10—12 с	12—15 с	15—18 с
"	1300	6—8 с	8—10 с	10—12 с
масляная, селитровая и щелочная	Менее 140	Не менее 8 ч	Не менее 8 ч	Не менее 8 ч
	140—150	2—4 ч	2—4 ч	2—4 ч
	160—170	1,5—2,5 ч	1,5—2,5 ч	1,5—2,5 ч
	180—200	1—2 ч	1—2 ч	1—2 ч
	Свыше 220	0,8—1 ч	0,8—1 ч	0,8—1 ч

Примечание. Выдержка при низкотемпературном отпуске для любых сечений отсчитывается с момента установления в ванне требуемой температуры.

Ориентировочное время, необходимое для сквозного нагрева стальных изделий, помещенных в различиые печи, иагретые до определеииой температуры, приведено в табл. 23.

Предварительный подогрев требуется в следующих случаях:

1. Для изделий из высокоуглеродистых и легированных сталей с острыми кромками и резкими переходами сечений, а также сложных н ие шлифуемых по профилю матриц для обеспечения равномерного иагрева и миии-мальной поводки.

2. Для фасонного инструмеита из быстрорежущих сталей с целью сокращения продолжнтельности выдержки при высокой температуре и предотвращения перегрева острых кромок.

3. При повторном нагреве закаленной стали во избежаиие растрескивания ее.

В случае нагрева деталей в пламенных печах наваломили в соляных ваннах в корзииах насыпью указанное в табл. 23 время нагрева увеличивают в 1;5—2 раза, н конец нагрева надо определять, сравнивая цвет стенок печн или соли с цветом деталей.

Нагревательные и охлаждающие среды, их свойства

Нагрев металла производится в воздушной и защнтной средах, в солях и щелочах, синтетических шлаках.

Нагрев в воздушной среде сопровождается окалинообразованнем и обезуглероживаннем. Соляные ванны также могут обезуглероживать сталь. В табл. 24, 25, 26 приведены составы и свойства жидких нагревательных и охлаждающих горячих сред.

Масло со временем теряет закаливающую способность. Его необходимо менять, когда содержание смолы в нем становится выше 10%, кислотное число — больше 2 мг кои/г и вязкость увеличивается протнв первоначальной на 40%

24. Составы соляных смесей, применяемых для нагреаа изделий в соляных ваниах под закалку

Компонент	Химическая формула	Количество, % по массе	Температура плавления, °С	Рекомендуемые температуры применения, °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
Повареиная 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
Хлорнстый барий Хлористый калий	$BaCl_2$ KCl	80 20	—	680—1060

Продолжение табл. 24

Компонент	Химическая формула	Количество, % по массе	Температура плавления, °С	Рекомендуемые температуры применения, °С
Хлористый барий	$BaCl_2$	100	962	1100—1350
Синтетические шлаки				
АН-ШТ1	—	100	—	870—1150
АН-ШТ2	—	100	—	780—880

25. Составы соляных и щелочных смесей для изотермической закалки и отпуска

Компонент	Химическая формула	Количество, % по массе	Рекомендуемые температуры применения, °С
	Соли		
Селитра калиевая	KNO_3	50—55	
Селитра натриевая	$NaNO_3$	3—20	
Нитрит натрия	$NaNO_2$	Остальное	150—500
Селитра калиевая	KNO_3	50—55	
Селитра натриевая	$NaNO_3$	3—20	110—500
Нитрит натрия	$NaNO_2$	Остальное	
Вода*	H_2O	4	

Продолжение табл. 25

Компонеит	Химическая формула	Количество, % по массе	Рекомендуемые температуры применения, °С
Селитра калиевая Селитра натриевая	KNO_3 $NaNO_3$	50 50	245—500
Хлористый цинк Хлористый калнй Хлористый натрий Фтористый натрий	$ZnCl_2$ KCl NaCl NaF	60 19 20 1	275—540
Селитра натриевая	$NaNO_3$	100	325—500
Селитра калиевая	KNO_3	100	325—500
Карналит	$KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$	100	450—600
Хлористый натрий Хлористый калнй Хлористый кальций Хлористый барий	NaCl KCl $CaCl_2$ $BaCl_2$	15 25 20 40	515—850
Селитра калиевая Нитрит натрия	KNO_3 $NaNO_2$	53 40	

Продолжение табл. 25

Компонент	Химическая формула	Количество, % по массе	Рекомендуемые температуры применения, °С
Селитра иатриевая	$NaNO_3$	7	105—200
Вода*	H_2O	2—3,5	
Едкий натр*	NaOH	4	
Щелочи			
Едкое кали	KOH	75	150—250
Едкий натр	NaOH	25	
Вода*	H_2O	6	
Едкое кали	KOH	63	180—350
Едкий натр	NaOH	37	
Едкое кали	KOH	50	260—540
Едкий иатр	NaOH	50	
Едкий натр	NaOH	100	350—550
Едкнй натр	NaOH	40	500—700
Кальциинроваиная сода	Na_2CO_3	35	
Хлористый калий или иатрий	KCl NaCl	25	

* Содержанне едкого натра н воды приведено в процентах по отношению к весу смеси селитр или щелочей.

26. Масла (по ГОСТ 20799—75 и ГОСТ 6411—52), применяемые для закалки и отпуска

Марка масла	Температура вспышки, °С	Марка масла	Температура вспышки, °С
Индустриальное		И-40А, И-50А,	
И-5А	120	И-70А	200
И-8А	130	И-100А	210
И-12А	165	Цилиндровое	
И-20А	190	38	300
И-25А	180	52	310
И-30А	190		

Защита изделий от обезуглероживания и окалинообразования

Лучшим способом защиты поверхности металла при нагреве является применение защитной (контролируемой) атмосферы (табл. 27, 28). Промышленность выпускает специальные генераторы, вырабатывающие защитные атмосферы, и электрические герметизированные печи, предназначенные для работы с защитными атмосферами.

При отсутствии в цехе защитной атмосферы для предохранения от окисления изделия упаковывают в ящики с отработанным карбюризатором, чугунной стружкой (свежей или в смеси с 50% отработанной), пережженным асбестом и т. п.

Чистый древесный уголь не защищает высокоуглеродистые стали от обезуглероживания

Инструменты из быстрорежущих и высокохромистых сталей перед закалкой погружают в насыщенный раствор буры. При нагреве бура расплавляется, покрывает поверхность изделия тонким слоем, который предохраняет изделие от действия окисляющей среды.

Для предотвращения окисления нагреваемых изделий возле дверцы печи кладут древесный уголь.

Мелкие детали предохраняют от образования окалины погружением в раствор, приготовленный следующим

27. Защитные атмосферы, применяемые при термической обработке

Защитная атмосфера	Способ приготовления атмосферы	Условное обозначение
Экзогаз	Полное сжигание углеводородных газов при α=0,9...1,0	ПС-09, ПСО-09*
Экзогаз	Неполное сжигание углеводородных газов при α=0,5...0,6	ПС-06, ПСО-06*
Эндогаз	Сжигание углеводородных газов с большим недостатком воздуха при α=0,25	КГ-ВО
Диссоциированный аммиак	—	ДА

* Приготовляют путем очистки от углекислого газа и сушки атмосфер ПС-09 и ПС-06.

образом: 1 часть хлористого кальция растворяют в 25 частях воды, после кипения раствору дают остыть, затем прибавляют 2 части размолотого плавикового шпата.

При нагреве в нефтяных и газовых печах следует регулировать работу форсунок и горелок так, чтобы в печь попадало меньше воздуха (создавать неполное сгорание топлива).

Соляные ванны для предохранения от обезуглероживания следует раскислять два-три раза в смену, добавляя в расплавленную соль молотый 25%-ный ферросилиций (200—300 г на ванну СПЗ-75), борную кислоту в количестве 1,5% от веса солн один раз в смену, желтую или крас-

иую кровяную соль (40—50 г на ванну). Хлорбариевые ванны раскисляют при температуре 1300—1320° С. После забрасывания раскислителя ванна выдерживается 15—25 мин, после чего очищается от шлака, и температура снижается до требуемой.

28. Назначение защитных атмосфер

Обрабатываемый материал	Операции термической обработки	Применяемая атмосфера
Медь и медные сплавы	Отжиг	ПС-09, ПСО-09
Чугуны и малоуглеродистые стали	То же и отжиг медно-никелевых сплавов, чугуна, малоуглеродистой стали	ПС-06, ПСО-09
Малоуглеродистые стали	Нормализация	ПС-06, ПСО-09
Углеродистые, легированные и быстрорежущие стали	Отжиг, нормализация и закалка	ПСО-06, ПСО-09, КГ-ВО
Нержавеющие и малоуглеродистые стали, трансформаторное железо	Отжиг	ДА
Малоуглеродистые стали	Цементация	КГ-ВО, а также ПСО-06 с добавкой сырого газа

Применяют также фтористый магний в количестве 5% для высокотемпературных ванн и 2% для среднетемпературных. Целесообразно применять соль, заранее смешанную с фтористым магнием. При забрасывании соли ванна пополняется раскислителем и специальное раскисление не требуется.

Большое распространение получил метод раскисления соляных ваин древесным углем Дырчатый стакаи с привареиной ручкой наполняют древесным углем и опускают в расплавленную соль на 15—20 мии (в смену рекомендуется раскислять 2—3 раза).

Раскисленность соляных ванн проверяют с помощью лезвнй безопасных бритв или фольги. Лезвие, нагретое в течение 3—5 мин в хорошо раскислениой ванне н закалениое в воде, должно ломаться, а не гиуться.

Щелочные ванны раскисляют, добавляя желтую кровяную соль (0,2—0,3% от веса щелочи). Прн раскислении ванну следует перемешивать в теченне 15—20 мин, после чего очистить от шлака Ванны, работающие при температуре ниже 250° С, раскислеиия ие требуют.

Отжиг и нормализация

В табл. 29—35 приведены рекомендации по выбору вида отжига, а также по режимам умягчающей обработки стали.

29. Режимы различных

Вид отжига	Материал, заготовка	Температура нагрева, °С
Полный	Доэвтектоидные, эвтектоидные стали, мелкое и среднее стальное литье	A_{C_3} + (20...30); A_{C_1} + (20...30)
Неполиый	Доэвтектоидные стали	Между A_{C_1} и A_{C_3}

Коррозионностойкую сталь охлаждают при отжиге вместе с печью, а при отпуске — на воздухе.

Стали для шарикоподшипников ШХ6, ШХ9, ШХ15 и ШХ15СГ отжигают при 780—800° С. До 550° С их охлаждают со скоростью 20—30 град/ч, а затем — на воздухе.

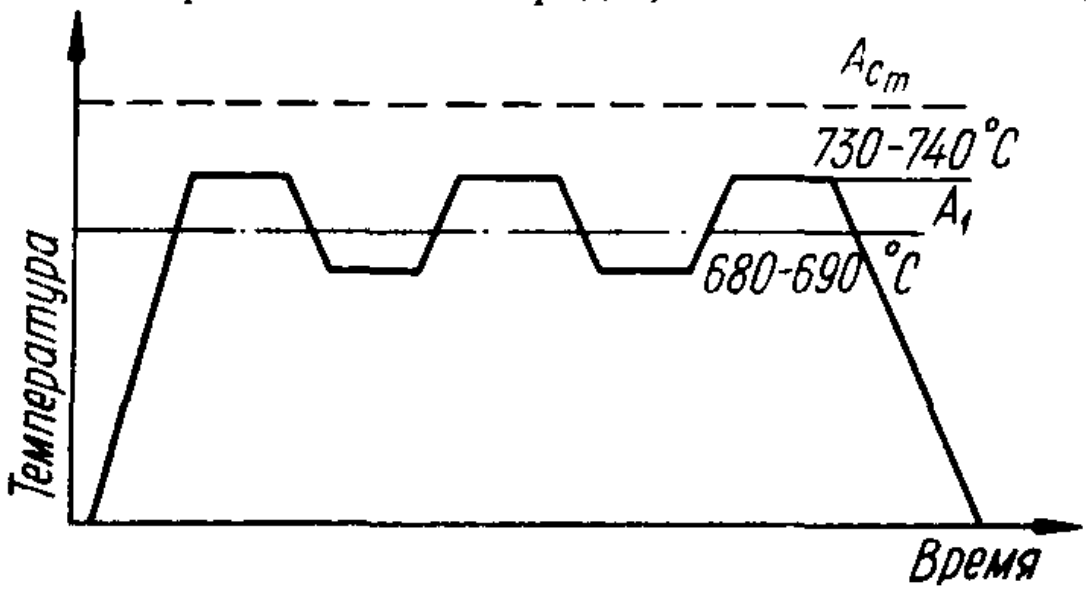


Рис. 2. Схема циклического (маятникового) отжига.

видов отжига

Условия охлаждения	Назначение отжига
До 500—600° С углеродистые стали охлаждают со скоростью 50—100 град/ч, легированные — со скоростью 20—60 град/ч, затем на воздухе	Уменьшение твердости; снятие напряжений; улучшение структуры
Такие же, как и при полном отжиге	Уменьшение твердости; снятие напряжений

Вид отжига	Материал, заготовка	Температура нагрева, °С
Сфероидизация (отжиг на зернистый перлит)	Заэвтектоидные стали	$A_{C_1}+(10...20)$
Изотермический	Легированные и высокоуглеродистые стали (в основном)	$A_{C_3}+(20...30)$ $A_{C_1}+(20...30)$
Диффузионный (гомогенизация)	Крупное стальное литье и глубокоцементированные изделия (свыше 2,5 мм)	$A_{C_3}+$ $+(150...250)$
Низкотемпературный (высокий отпуск)	Заэвтектоидные, высоколегированные конструкционные стали, все инструментальные стали	$A_{C_1}-(15...50)$
Рекристаллизационный	Все стали после деформации при низких температурах	См. табл. 30

Примечания: 1. Сфероидизация производится также в виде маятникового или циклического отжига по схеме, указанной на рис. 2.

2. Быстрое охлаждение от температуры первого нагрева до изотермической выдержки осуществляется в печи с заданной температурой или же путем остывания в печи

Продолжение табл. 29

Условия охлаждения	Назначение отжига
Охлаждение до 500—600° С со скоростью 20—30 град/ч	Умеиьшение твердости; улучшение обрабатываемости режущим инструментом; улучшеиие обрабатываемости при холодной протяжке; подготовка структуры к последующей закалке
Быстрое охлаждение до температуры A_{r_1} — (20—30)°С, выдержка при этой температуре, охлаждение на воздухе	Такое же, как и при полном отжиге
С печью	Устранение грубой структуры, ликвации
С печью или иа воздухе	Уменьшение твердости; умеиьшение напряжеиий; улучшеиие обрабатываемости
См. табл. 30	Восстановление структуры после наклепа

с открытой дверцей.

3. Высокий отпуск является единственным видом смягчеиия хромоникельвольфрамовых, хромоникельмолибдеиовых конструкциоиных сталей.

4. После гомогеннзирующего отжига для измельчения структуры рекомеидуется обычный отжиг.

30. Рекристаллизационный отжиг холоднодеформированной стали

Марка стали	Температура нагрева, °С	Охлаждающая среда
У7—У13, У8Г, 08—85, 15Г—70Г, 70С2ХА, ЕХ3	680	Воздух
ШХ6—ШХ15, ШХ15СГ, 40Х, 38ХА, 40ХФА, 38Х2МЮА, 30ХГСА, Х, 9Х1, 7Х3, 8Х3, 9ХС, 4ХС, 4ХВ2С, 5ХВ2С, 6ХВ2С, ХВГ, ХВ5	700	„
Р9, Р18	760—780	Вода
Х12, Х12М, Х12Ф1, 95Х18	730—750	„
40Х9С2, 40Х10С2М, 12Х17	850	„
20Х13, 30Х13, 40Х13	720	Воздух
08Х18Н10, 12Х18Н9, 12Х18Н9Т, 17Х18Н9, 08Х18Н12Б, 45Х14Н14В2М	850	Вода
12ХН3А, 12Х2Н4А, 30ХН3А, 40ХН2МА	660	Воздух

Примечание. При температуре рекристаллизации в случае открытого нагрева изделия выдерживают до одного часа.

31. Режимы умягчающей обработки легированных конструкционных сталей

Марка стали	Операция	Температура нагрева, °С	Условия охлаждения
30Х, 35Х, 40Х, 45Х, 50Х, 15ХФ, 40ХФА	Отжиг	840—860	40—50 град/ч
33ХС, 38ХС, 40ХС	„	860—880	40—50 град/ч
40ХГ, 35Г2	„	840—850	40—50 град/ч
20ХГС, 25ХГС, 30ХГС, 35ХГС	Отжиг изотермический	860—890	Изотермическая выдержка 2—4 ч при 660—680° С, затем охлаждение на воздухе
15ХМ, 20ХМ	Отжиг	870—890	30—40 град/ч
30ХМ, 35ХМ	„	840—870	30—40 град/ч
38Х2Ю, 38Х2МЮА	„	860—880	60—80 град/ч
20ХН	„	840—860	30—40 град/ч
40ХН, 45ХН, 50ХН	„	790—810	30—40 град/ч

Продолжение табл. 31

Марка стали	Операция	Температура нагрева, °С	Условия охлаждения
12ХН2, 12ХН3А, 30ХН3А	Нормализация	880—900	На воздухе
12Х2Н2	Отпуск	600—640	„ „
18Х2Н4МА	„	640—660	Выдержка 4—8 ч и охлаждение с печью
20ХН2МА, 40ХН2МА	„	650—670	Выдержка 5—6 ч и охлаждение с печью
45ХН2МФА	Отжиг	850—880	40—50 град/ч
18ХГТ, 25ХГТ, 30ХГТ	Нормализация	950—970	На воздухе
20ХГНР	Отжиг	860—870	80—100 град/ч
20Х2Н4А	Отпуск	640—660	Выдержка 4—8 ч и охлаждение с печью

Медленное охлаждение после отжига лучше всего осуществлять с помощью приборов программного управления режимами печей. Если их иет, изделия упаковывают в ящики с песком или герметизируют печи, обмазывая дверн и другие просветы. Кроме того, задаиную скорость охлаждения можно также обеспечить периодическим отключением и включением печи.

После нормализации, в отличие от отжига, изделия охлаждают на воздухе, вследствие этого структура получается более мелкозернистой. Нормализация примеияется для исправлеиия структуры перегретой стали, снятия виутреиних иапряжений, разрушеиия карбидиой сетки, улучшения обрабатываемости коиструкционных малоуглеродистых и низколегированных сталей и как предварительная операция для увеличения глубииы прокаливаемости углеродистых инструментальиых сталей.

Способы закалки

Даиные по закалочным средам при изотермической и ступенчатой закалке даиы в табл. 25 и 26.

Закалка в одном охладителе. Нагретое изделие охлаждается до температуры ниже 150—100° С в одном охладителе. Это осиовной вид закалки легироваиных сталей при охлаждеиии в масле и цемеитированиых углеродистых сталей при охлаждеиии в воде (табл. 36). Он примеияется также для закалкн изделий из средне- и высокоуглеродистых сталей самой несложной формы. Изделия из углеродистых сталей диаметром до 6—7 мм закаливаются в масле.

Значительное уменьшение брака по трещинам и поводке для сложных изделий из углеродистых сталей дает примененне вместо воды 50%-иого водного раствора едкого натра.

Закалка в двух охладителях (прерывистая закалка). Нагретое изделие охлаждается в воде до температуры 200—250° С, после чего быстро переносится в масло для дальнейшего охлаждения. Ориентировочно время выдержки в воде до переиоса в масло составляет примерно

Марка стали	Назначение отжига	Температура нагрева, °С
Э31, Э42, Э45, Э46, Э47, Э48 и др. (по ГОСТ 802—58)	Повышение магнитных свойств и нанесение окисной пленки	830—870
	Повышенне магнитных свойств без нанесения окисной пленки (светлый отжиг)	860—900
	Значительное повышенне магнитных свойств за счет получения крупнозериистой структуры и очистки поверхности от вредных примесей (окисная пленка после отжига отсутствует)	1000—1050
Э310	Значительное повышение магнитных свойств (окнсная пленка после отжига отсутствует)	780—820

Примечание. При отсутствии жаропрочной стали

технических сталей

	Продол-житель-ность вы-держки, ч	Условия охлаждеиия	Необходимое оборудоваиие и материалы
	3	50 град/ч, выгрузка изделий из ящика при 150° С	Печь, ящик из жаро-прочной стали
	3—4	То же	Печь, ящик из жаро-прочной стали, защнт-ная среда — асбестовый пережженный порошок
	10—20	60—70 град/ч	Печь, установка для от-жига в вакууме или во-дороде
	3—4	Охлаждение с пе-чью, выгрузка при 100° С	Печь, устаиовка для от-жига в вакууме или в водороде

ящики изготовляются из обычной конструкционной.

33. Режимы отжига магнитно-мягких сплавов

Марка сплава	Среда отжига	Температура, °С, и скорость нагрева, град/ч
45Н 50Н 79НМ 50НП 34НКМП 35НКХСП 40НКМП	Вакуум не выше 10^{-3} мм рт. ст. или водород	1100—1150, не более 500
68НМП		1100—1150, не более 500**
50НХС 80НХС	Вакуум не выше 10^{-3} мм рт. ст.	1100—1150, не более 500
79НМП	Вакуум не выше 10^{-4} мм рт. ст.	940—980
77НМДП		930—970
81НМА		1080—1120
47НК 47НКХ	Вакуум не выше 10^{-3} мм рт. ст. или водород	1080—1120, не более 500**

	Время выдержки, ч	Режим охлаждения*
	3—6	До 600° С со скоростью не более 200 град/ч, до 200° С — не менее 400 град/ч
	1 3	До 600° С не более 200 град/ч, затем любая
	0,5—4	До 200° С — 25—100 град/ч
	3—6	До 400° С со скоростью не более 200 град/ч
	2	До 150° С со скоростью не более 250 град/ч
	1,5	До 600° С со скоростью не более 200 град/ч
	3	До 600° С со скоростью не более 200 град/ч, до 400° С со скоростью не менее 400 град/ч
	3	До 600° С со скоростью не более 200 град/ч

Марка сплава	Среда отжига	Температура. °С, и скорость нагрева, град/ч
64Н 79Н3М 68НМ 40НКМ	Вакуум не выше 10^{-3} мм рт. ст. нлн водород	1080—1120, не более 500**
16Х	Вакуум не выше 10^{-4} мм рт. ст.	1200
36КНМ	Вакуум не выше 10^{-3} мм рт. ст. нли водород	1100

* До комнатной температуры скорость охлаждения может
** После отжига сплавы 34НКМП, 35НКХСП, 40НКМП 47НК, 47НКХ, 64Н, 79Н3М, 68НМ, 40КНМ — прн темпера-

34. Рекомендуемые режимы умягчеиия нержавеющих сталей

Марка стали	Процесс термической обработки и температура, °С	$\sigma_в$, кГ/мм² (не менее)	δ, % (не менее)	Твердость *НВ*
08Х13, 12Х13	Отжиг 860—880 или отпуск 740—800	40	21	135—160

Продолжение табл. 33

Время выдержки, ч	Режим охлаждения*
0,5—1	До 350° С со скоростью не более 30—50 град/ч, далее — с выключенной печью
4	До 750° С со скоростью 100 град/ч, до 200° С со скоростью ие менее 200 град/ч
10	До 700° С со скоростью 100 град/ч, до 200 со скоростью ие менее 200 град/ч

быть любой.
н 68НМП отпускают при температуре 600° С, сплавы туре 550—600° С.

Продолжение табл. 34

Марка стали	Процесс термической обработки и температура, °С	$\sigma_в$, кГ/мм² (не менее)	δ, % (не менее)	Твердость *НВ*
20Х13	Отжиг 860—880 или отпуск 740—800	50	20	135—160
30Х13		50	15	205—225
40Х13		56	15	205—225

Продолжение табл. 34

Марка стали	Процесс термической обработкн и температура, °С	$\sigma_в$, кГ/мм² (не менее)	δ, % (не менее)	Твердость *НВ*
12Х17, 08Х17Т	Отпуск 740—780	50	18	156
15Х28, 15Х25Т	Нормалнзацня 1040—1080	110	20	306
15Х5	Нормализацня 850—870	40	24	111
40Х9С2	Нормализацня 850—870	75	15	208
15Х6СЮ	Отпуск 750—800	45	20	126
10Х13СЮ 15Х18СЮ	Нормализацня 800—850	50 50	15 20	140 140

Примечания: 1. Скорость охлаждения при отжиге 15—20 град/ч до 500° С, а затем с печью или на воздухе.

2. После отпуска охлажденне на воздухе нли в масле. Прочность после отпуска несколько выше, чем после отжига.

35. Режимы изотермического отжига ииструмеитальиых сталей

Марка стали	Температура нагрева*, °С	Изотермическая выдержка		Твердость *НВ*
		Температура, °С	Выдержка, ч	
У7, У7А	790—810	650—680	1—2	187, не более
У8, У8А	740—760	650—680	1—2	187 „ „
У9, У9А	750—770	660—690	1—2	192 „ „
У10, У10А	750—770	680—700	1—2	197 „ „
У11, У11А	750—770	680—700	1—2	207 „ „
У12, У12А	750—770	680—700	1—2	207 „ „
У13, У13А	750—770	680—700	1—2	217 „ „
Х06	750—770	680—700	3—4	207 „ „
ХВ	750—770	680—700	3—4	207 „ „
Х05	750—770	680—700	3—4	187—241
Х, ШХ15	770—790	680—700	3—4	181—229
9ХС	790—810	700—720	3—4	197—241
ХВГ	770—790	680—700	3—4	207—255
Х12Ф1	850—870	720—750	3—4	207—255
Х12М	850—870	720—750	3—4	207—255
Р9, Р18	830—850	730—750	4—6	207—255
Р9Ф5	840—860	740—760	6—8	293, не более
Р9К10	840—860	740—760	6—8	293 „ „
Р14Ф4	840—860	740—760	6—8	293 „ „
Р18Ф2	840—860	740—760	6—8	293 „ „
Р18К5Ф2	840—860	740—760	6—8	293 „ „
Р9К5	840—860	740—760	6—8	293 „ „
Р12	840—860	740—760	6—8	293 „ „
Р6М3	840—860	740—760	6—8	293 „ „
Р6М5	840—860	740—760	6—8	293 „ „

* Прн указаиных температурах изделня выдерживают 1—2 ч.

36. Скорость охлаждения стали в различиых охлаждающих средах

Охлаждение	Скорость охлаждеиия, град/с, при температуре, °С	
	650—550	300—200
В воде при		
18° С	600	270
26° С	500	270
50° С	100	270
74° С	30	200
В 10%-ном водном растворе поваренной соли при 18° С	1100	300
В 10%-ном водном растворе каустической соды прн 18° С	1200	300
В 10%-иом водном растворе серной кнслоты при 18° С	750	300
В минеральном масле	100—150	20—50
В мыльной воде	30	200
В керосние	160—180	40—60
Между медными плитами	60	30
Между железными плнтамн	35	15

1—1,5 с на каждые 5—6 мм диаметра нли толщины изделнй. Это основной вид закалкн углеродистых инструментальных сталей.

Струйчатая закалка. Охлаждение производится струей воды нли водным душем. Такое охлажденне применяется для закалки изделий со сквознымн и глухнми отверстнямн. Давленне воды должно быть повышенным.

Изотермическая закалка. Изделие нагревается на 15—20° С выше требуемой температуры, охлаждается в горячей среде (табл. 26), нагретой до температуры выше начала мартенснтного превращення данной стали. Полученные механнческие свойства и структура стали завнсят от температуры охлаждающей среды. Температуру охлаждающей среды выбирают по днаграмме изотермнческого превращения данной стали После окончання

превращения аустенита изделия охлаждают на воздухе. В результате изотермнческой закалки образуется троостит или сорбнт. Отпуск не требуется. Применяется при закалке изделий сложной формы диаметром до 20—30 мм для предотвращения образования трещин и коробления. Деталн большнх размеров в горячей среде не успевают

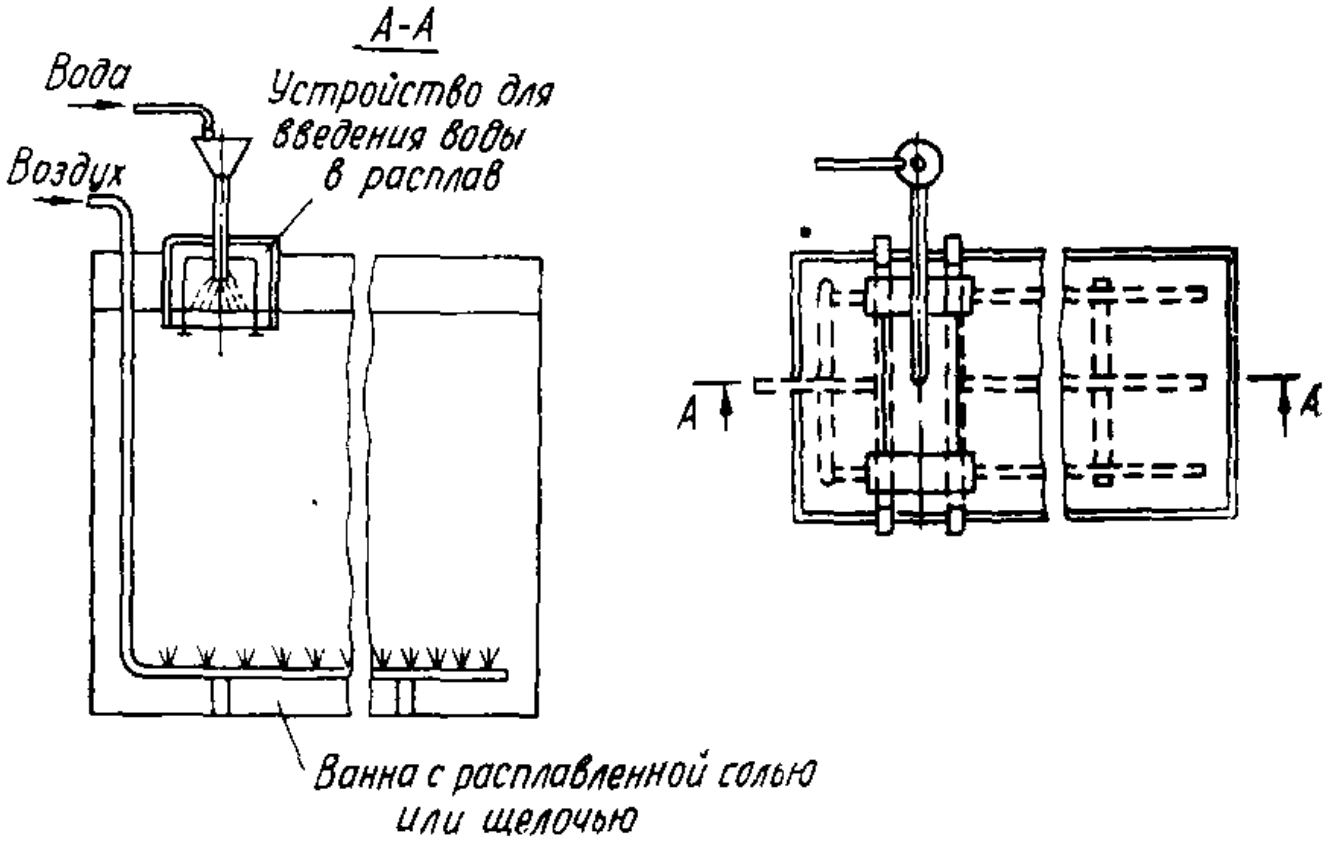


Рис. 3. Установка ввода воды в расплавленную соль или щелочь.

охлаждаться с требуемой скоростью и не закаливаются на заданную твердость.

Для повышення закаливающей способности горячей среды предложен [2] безопасный ввод в нее воды при высокнх температурах. При этом способе стала возможной изотермнческая закалка изделий сечением свыше 100 мм.

На рнс. 3 показана действующая на Горьковском металлургическом заводе установка для ввода воды в ванну с расплавленной селитрой нли щелочью. Сталь 6ХС

сечением 120×80 мм закаливается в такой ванне при температуре 250° С до твердости *HRC* 50±2.

Ступенчатая закалка на мартенсит. Производится двумя способами:

1. Нагретое изделие погружают в горячую среду, температура которой на 20—30° С выше температуры мартенситного превращения, до выравнивания температуры по всему сечению. После этого изделия охлаждаются на воздухе. После выгрузки их можно править до окончания процесса превращения аустенита.

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

Светлая закалка. Нагретое в соляной ванне изделие охлаждается в расплаве щелочей (см. табл. 26). В зависимости от температуры щелочи закалка может быть изотермической или ступенчатой. Изделие после закалки сохраняет светлую неокисленную поверхность и не требует очистки.

Закалка при температурах ниже 0°С (обработка холодом). Применяется для сталей с устойчивым аустенитом для более полного его превращения в мартенсит. После закалки изделие, остывшее до комнатной температуры, сразу же подвергают обработке холодом, так как после вылеживания при комнатной температуре аустенит стабилизируется. Время от момента закалки до обработки холодом не должно превышать 1—3 ч, а для углеродистых инструментальных сталей — и того меньше. Обработка холодом производится до отпуска.

Поверхностная закалка при нагреве газокислородным пламенем (пламенная закалка). Заключается в нагреве участка изделия, подлежащего закалке газокислородным пламенем, и в последующем его охлаждении. Глубина закалки 1—6 мм. В качестве горючего газа чаще других применяют ацетилен. Профиль газовых горелок, применяемых для нагрева под закалку, должен соответствовать

37. Температура обработки холодом некоторых марок сталей

Марка стали	Температура охлаждения, °С	Марка стали	Температура охлаждения, °С
У8	0	ШХ15	—30
У10	0	Х12Ф1	—70
У12	—20	18ХНВА	—85*
ХГ	—50	12Х2Н4А	—85*

* Для цементированного слоя.

профилю закаливаемого изделия. Этим обеспечнвается равномерность нагрева и закалка изделия за один проход. Охлаждают его водой с помощью спрейера. Расход воды при закалке 0,3—0,5 л/мин иа 1 см² охлаждаемой поверхностн. Чем меньше расстояние от горелкн до закаливаемого изделия и чем меньше скорость движенння, тем больше глубина закалки.

Закалка при иагреве ТВЧ (табл. 38). Глубнна закалениого слоя деталей, работающих на нстирание, приннмается в зависнмости от размера нзделня не больше 2 мм. При налнчии продавлнвающнх нагрузок глубину увеличивают до 8—10 мм.

Зазор между изделнем и индуктором иаходится в пределах от 2 до 6 мм. При одновременном нагреве высота индуктора должна быть меньше высоты нагрева на величину двух зазоров между индуктором н изделнем.

При иепрерывно-последовательном способе, когда глубина проникновеиия тока I в сталь равна нлн больше велнчнны заданного закаленного слоя S, высота индуктора

$$h_{инд} = (0{,}5 \ldots 1{,}0)\ \delta \text{ мм},$$

а если $I < S$, то

$$h_{инд} = (1{,}5 \ldots 2{,}5)\ \delta \text{ мм}.$$

Расстояние между витками в многовитковом индукторе примерно равно 2 мм. Зазор между изделием и индуктором лежит в пределах от 2 до 6 мм.

Отверстия, пазы и другие неровности в изделиях, нагреваемых ТВЧ, во избежание перегрева или оплавле-

38. Способы закалки ТВЧ

Способ	Закаливаемые изделия
Одновременная закалка всей подлежащей обработке поверхности	Диски
Последовательная закалка отдельных участков изделия. Весь участок, подвергаемый закалке, нагревается одновременно или непрерывно-последовательно	Шестерни (зубья), валы (шейки) и т. п.
Непрерывно - последовательная закалка	Изделия с большой поверхностью закаливаемых участков, длинные изделия

Примечание. Цилиндрические изделия рекомендуется вращать для получения закалочного слоя одинаковой толщины; частота вращения 50—200 об/мин.

ния кромок следует заполнять медными, латунными или размоченными в воде деревянными вставками.

С этой же целью для нагрева изделий с острыми гранями изготовляют фасонные индукторы с таким расчетом, чтобы острые грани изделия были удалены от стенок индуктора значительно дальше, чем остальная его

часть. Для изготовления индукторов используют трубки из красной меди с толщиной стенки 0,5—2 мм или листовую медь.

При закалке внутренних и находящихся вне контура индуктора поверхностей с целью увеличения эффективности нагрева применяют магнитопроводы, которые вставляют во внутреннюю часть индуктора для вытеснения магнитных силовых потоков в требуемом направлении.

Магнитопроводы при нагреве на машинных генераторах набираются в пакеты из листов трансформаторного железа толщиной 0,1—0,2 мм, изолированных друг от друга с помощью теплостойкого лака или другим способом. При нагреве на ламповых генераторах магнитопроводы изготовляют либо из ферритов, либо из специальной керамики (состав: окись цинка — 18%, окись железа — 66%, окись меди — 4%, закись никеля — 12%), либо из пластинок железоникелевых сплавов (пермаллоев). Закалка осуществляется через спрейер или через отверстие на внутренних стенках индуктора (индуктор-спрейер). В качестве охлаждающих жидкостей для углеродистых сталей применяют воду. Легированные стали закаливают в 20%-ном водном растворе глицерина, в растворе глицерина и поваренной соли (2 части глицерина, 1 часть соли и 2 части воды, по объему), в подогретых до 45—50° С воде или в масле.

Калить в масле можно только способом погружения. При спрейерном охлаждении водным раствором глицерина инструментов сложной формы из сталей 9ХС и Х, нагретых ТВЧ, трещины не образуются как при первичной, так и при повторной закалках.

Изделия нагреваются ТВЧ чрезвычайно быстро. Поэтому для того чтобы успели произойти структурные превращения, температуру закалки обычно повышают на 50°С по сравнению с печным нагревом.

В настоящее время на ряде заводов применяется нагрев ТВЧ под слоем жидкости. Закалка, как правило, производится в специальных станках.

Режим нагрева ТВЧ подбирается опытным путем. Для этого несколько одинаковых деталей нагревают до требуемой температуры при разных скоростях нагрева и закаливают их. Затем проверяют глубину слоя, твер-

дость и микроструктуру. Наилучшим режимом является тот, при котором микроструктура при всех прочих требуемых условиях представляет собою мартеисит наиболее мелкого строеиия. Показаиия приборов для этого режима вписываются в карты техиологического процесса и действительны только для даииого взаимиого расположения детали и индуктора.

Отпуск

Отпуск следует производить иемедлеиио после закалки. Время пребывания изделия в воздушиой печи при отпуске составляет примерно 2—3 мии иа 1 мм наимень-

39. Ориеитировочиое определение температур по цветам побежалости деталей из углеродистых сталей

Цвет побежалости	Температура, °С	Толщииа окисленииого слоя (приближеиио), мкм
Светло-желтый	220	0,45
Соломенно-желтый	240	0,45
Желто-коричневый	255	0,50
Красно-коричиевый	265	0,50
Фиолетовый	280	0,65
Сииий	300	0,65
Голубой	325	0,72
Серый	330—350	0,72

Примечание. Для легированиых сталей в зависимости от степеии легированиости цвета побежалости появляются при более высоких температурах. Так, для нержавеющих сталей светло-желтый цвет появляется при 300—400° С.

шей стороны, но не менее 30—40 мин. В ваннах с жидкой средой время отпуска можно уменьшить на 50%.

Изделия размером свыше 20 мм из всех легированных сталей, содержащих хром, во избежание появления отпускной хрупкости, рекомендуется охлаждать после высокого отпуска (450—650° С) в масле или в воде и вразброс на воздухе (изделия меньшего размера). Пружины из стали 50ХФА охлаждают после отпуска в горячей воде или в масле.

После шлифования, чтобы избежать деформации при хранении, производят старение — низкий отпуск при 140—160° С в течение 2—4 ч.

Цвета побежалости, по которым определяют температуру нагретых деталей, приведены в табл. 39.

Режимы закалки и отпуска стали

В табл. 40—49 приведены режимы закалки и отпуска углеродистых и легированных сталей. Пружины, изготовленные из термически обработанной (патентированной) стали, проходят после навивки отпуск при 250—320° С в течение 30 мин.

Температура закалки стали Г13 — 1050—1100° С. Охлаждение в воде. Нагрев под закалку замедленный. Выдержка при нагреве 2—4 ч.

Очистка изделий после термической обработки

От солей, масла и грязи изделия отмывают в водном растворе каустической (3%) или кальцинированной (10%) соды при температуре 80—90° С в течение трех или более минут. Раствор меняют не реже, чем через каждые 10 дней.

От окалины изделия очищают в дробеструйных аппаратах и в травильных ваннах, а также с помощью

40. Ориентировочные режимы термической обработки и механические свойства качественных конструкционных углеродистых сталей

Марка стали	Температура нагрева для закалки, нормализации и полного отжига, °С	Охлаждающая закалочная среда	Температура отпуска, °С	Твердость		$\sigma_в$, кгс/мм²	δ, %
				HB	*HRC*		
Цементируемые 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; 600	— —	35—30	— 55	— 20
35	840—880	„	300—400 400—500 500—600	— — —	50—41 41—31 31—23	— — —	— — —

Марка стали	Температура нагрева для закалки, нормализации и полного отжига, °С	Охлаждающая закалочная среда	Температура отпуска, °С	Твердость		$\sigma_в$, кгс/мм²	δ, %
				HB	*HRC*		
40	820—860	Вода	200—300	—	52—48	—	—
			300—400	—	48—41	—	—
			400—500	—	41—33	—	—
			500—600	—	33—22	—	—
45,50	810—840	„	200—300	—	54—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, масло	400—550	321	—	—	—
			550—620	241—207	—	—	—
65	785—815	„	300—400	—	52—45	—	—
			400—500	—	45—37	—	—
			500—600	—	37—28	—	—
70,75	770—815	„	400	—	46—39	—	—
			610—670	260—230	—	—	—

Продолжение табл. 40

Марка стали	Температура нагрева для закалки, нормализации и полного отжига, °С	Охлаждающая закалочная среда	Температура отпуска, °С	Твердость		$\sigma_в$, кгс/мм²	δ, %
				HB	*HRC*		
80,85	770—800	Вода, масло	375—400	—	49—40	—	—
			560—600	—	33—26	—	—
60Г	790—820	»	200—220	—	60—56	—	—
			380—420	—	46—40	—	—
			500—600	302—269	—	85	9
65Г	790—815	Масло	150—200	—	60—58	—	—
			200—300	—	58—54	—	—
			300—400	—	54—47	—	—
			400—500	—	47—39	—	—
			500—600	—	39—30	—	—
70Г	780—800	»	200—220	—	62—58	—	—
			400—450	—	46—40	—	—

Примечания: 1. Механические свойства указаны для сечения до 30 мм.

2. Температуры закалки цементированных сталей см. табл. 57.

41. Ориентировочные режимы термообработки и твердость легированиых конструкцнонных сталей (ГОСТ 4543—71)

Марки стали	Нормализация и закалка		Отпуск			Размер сечения заготовки, мм
	Средняя температура, °С	Закалочная среда	Температура	Твердость, не меиее		
				HB	*HRC*	
15Х, 15ХА, 20Х	900	Масло, вода	180	200	—	15
30Х, 30ХРА	860	Масло	200 500	— 250	44 —	20
35Х	860	„	500	260	—	25
38ХА, 40Х	840	„	200—300 300—400 400—500 500—600 600—650	— — — — —	54—52 52—45 45—36 36—30 30—27	25
45Х	830	„	200—220 500—580 580—650	— 280—302 230—280	55—52 — —	25

Продолжение табл. 41

Марки стали	Нормализация и закалка		Отпуск			Размер сечения заготовки, мм
	Средняя температура, °С	Закалочная среда	Температура	Твердость, не менее		
				HB	*HRC*	
50Х	825	Масло	500	300	—	25
15Г	880	Воздух	—	115	—	25
20Г	880	„	—	120	—	25
25Г	870	„	—	140	—	25
30Г	860	Вода	200—220 400—500 600	— — 153	54—52 33—33 —	25
40Г	840	Масло	600	170	—	25
45Г	830	„	600	175	—	25

Продолжение табл. 41

Марки стали	Нормализация и закалка		Отпуск			Размер сечения заготовки, мм
	Средняя температура, °С	Закалочная среда	Температура	Твердость, не менее		
				HB	*HRC*	
50Г	820	Масло	200 600	— 185	50 —	25
10Г2	920	Воздух	—	110	—	25
30Г2	880	Масло	600	165	—	25
35Г2	840	„	200—300 300—400 400—500 600	— — — 175	56—48 48—38 38—34 —	25
40Г2	830	„	600	186	—	25
45Г2	820	„	300—400 400—500 550—620	— — 241—217	49—43 43—33 —	25

Продолжение табл. 41

Марки стали	Нормализация и закалка		Отпуск			Размер сечения заготовки, мм
	Средняя температура, °С	Закалочная среда	Температура	Твердость, не менее		
				HB	*HRC*	
50Г2	815	Масло	500—600	321—269	—	25
18ХГ	870	„	200	250	—	15
18ХГТ	950 850	Воздух Масло	— 200	— 275	— —	— —
20ХГР	880	„	200	275	—	15
27ХГР	870	„	200	388	—	15
25ХГТ	950 850	Воздух Масло	— 200	— 360	— —	— —
30ХГТ	950 850	Воздух Масло	200 200	410 410	— —	— —

Продолжение табл. 41

Марки стали	Нормализация и закалка		Отпуск			Размер сечения заготовки, мм
	Средняя температура, °С	Закалочная среда	Температура	Твердость, не менее		
				HB	*HRC*	
40ХГТР	840	Масло	550	270	—	25
35ХГФ	870	"	630	250	—	25
25ХГМ	860	"	200	330	—	—
33ХС	915	"	250—270	—	42	25
38ХС	915	"	250—280 600—650	— 241—269	55—52 —	25
40ХС	910	"	240—260 600—650	— 241—269	55—52 —	25
15ХМ	890	"	550	235	—	30

Продолжение табл. 41

Марки стали	Нормализация и закалка		Отпуск			Размер сечения заготовки, мм
	Средняя температура, °С	Закалочная среда	Температура	Твердость, не менее		
				HB	*HRC*	
20ХМ	880	Масло	500	220	—	15
30ХМ, 30ХМА	875	»	460 560 650	320 270 260	— — —	15
35ХМ	860	»	200 560 600—650	— 270 260	45 — —	25
38ХМ	850	»	580	270	—	25
30ХЗМФ	870	»	620	270	—	25
40ХМФА	860	»	580	285	—	25
15ХФ	880	»	180	210	—	15

Продолжение табл. 41

Марки стали	Нормализация и закалка		Отпуск			Размер сечения заготовки, мм
	Средняя температура, °С	Закалочная среда	Температура	Твердость, не менее		
				HB	*HRC*	
40ХФА	860	Масло	450—500 620—680	— 255	42—35 —	25
15Н2М	860	„	180	230	—	15
20Н2М	860	„	180	245	—	15
20ХН	855	„	200	270	—	15
40ХН	820	„	200	—	45—50	25
45ХН	815	„	250 530	— 270	54 —	25
50ХН	810	„	530	300	—	25

Продолжение табл. 41

Марки стали	Нормализация и закалка		Отпуск			Размер сечения заготовки, мм
	Средняя температура, °С	Закалочная среда	Температура	Твердость, не менее		
				HB	*HRC*	
20ХНР	940	Масло	200	330	—	15
12ХН2	850	„	180	220	—	15
12ХН3А	880	„	180	260	—	15
12Х2Н4А	860	„	180	315	—	15
20Х2Н4А	860	„	180	360	—	15
30ХН3А	820	„	530	270	—	25
20ХГСА	880	„	200 500	400 220	— —	15

Марки стали	Нормализация и закалка		Отпуск			Размер сечения заготовки, мм
	Средняя температура, °С	Закалочная среда	Температура	Трердость, не менее		
				HB	*HRC*	
25ХГСА	880	Масло	200 500	400 300	— —	15
30ХГСА	870	"	220—250 480—520 520—580 580—640 640—680	— 390—340 340—285 285—235 235—210	50—46 — — — —	15
35ХГСА	870	"	200—250 650	— 215	53—46 —	25
30ХГСН2А	900	"	200—300	—	50—46	25
15ХГН2ТА	960	—	180	265	—	15

Продолжение табл. 41

Марки стали	Нормализация и закалка		Отпуск			Размер сечения заготовки, мм
	Средняя температура, °С	Закалочная среда	Температура	Твердость, не менее		
				HB	*HkC*	
20ХГНР	830	Масло	200	360	—	15
20ХГНТР	850	„	200	330	—	15
38ХГН	850	„	570	230	—	25
14Х2Н3МА	880	„	180	270	—	15
20ХН2М	860	„	200	250	—	15
30ХН2МА	860	„	530	270	—	15
38Х2Н2МА	870	„	580	300	—	25

Продолжение табл. 41

Марки стали	Нормализация и закалка		Отпуск			Размер сечения заготовки, мм
	Средняя температура, °С	Закалочная среда	Температура	Твердость, не менее		
				HB	*HRC*	
40ХН2МА	840	Масло	200—300 300—400 400—500 500—600	— — — —	54—49 49—44 44—38 38—29	25
40Х2Н2МА	870	„	600	300	—	25
38ХН3МА	850	„	590	300	—	25
18Х2Н4МА	950	Воздух	200	315	—	15
25Х2Н4ВА	850	Масло	560	300	—	25
30ХН2МФА	860	„	680	250	—	25
36Х2Н2МФА	850	„	600	330	—	25

Продолжение табл. 41

Марки стали	Нормализация и закалка		Отпуск			Размер сечения заготовки, мм
	Средняя температура, °С	Закалочная среда	Температура	Твердость, не менее		
				HB	*HRC*	
38ХН3МФА	850	Масло	600	330	—	25
45ХН2МФА	870	»	380—420 550—600 600—650	— — —	49—44 39—35 35—25	25
20ХН4ФА	850	»	630	250	—	25
38Х2ЮА	930	»	630	250	—	30
38Х2МЮА	940	»	640	270	—	30

Примечания: 1. В таблице приведена твердость для сердцевины образцов. Твердость цементированного слоя после закалки не менее *HRC* 56.

2. Температура закалки после цементации приведена в табл. 57.

42. Ориентировочные режимы термической обработки и твердость рессорно-пружинных сталей (ГОСТ 14959—69)

Марка стали	Температура нагрева при нормализации и закалке	Закалочная среда	Отпуск		Твердость *HB*, не более	
			Температура, °С	Твердость *HRC*	Термически необработанные стали	После отжига или высокого отпуска
65	785—815	Масло	300—400 400—500 500—600	52—45 45—37 37—28	255	229
70	780—815	»	380	37	269	229
75	780—815	»	380	38	285	211
85	770—800	»	375	40	302	269
60Г	800—820	»	200—220 380—420 500—600	60—56 46—40 32—28	285	211

Продолжение табл. 42

Марка стали	Температура нагрева при нормализации и закалке	Закалочная среда	Отпуск		Твердость *HB*, не более	
			Температура, °С	Твердость *HRC*	Термически необработанные стали	После отжига или высокого отпуска
65Г	790—815	Масло	150—200 200—300 300—400 400—500 500—600	60—58 58—54 54—47 47—39 39—30	285	211
70Г	780—800	„	200—220 400—450	62—58 46—40	285	211
55ГС	790—820	„	380—420 580	46—39 31—25	285	211
50С2	870	Масло, вода	460	36	285	211
55С2, 55С2А	850—890	„	480—500	43—39	285	211

Продолжение табл. 42

Марка стали	Температура нагрева при нормализации и закалке	Закалочная среда	Отпуск		Твердость *HB*, не более	
			Температура, °С	Твердость *HRC*	Термически необработанные стали	После отжига или высокого отпуска
60С2, 60С2А	840—870	Масло	400—430	49—40	302	269
70С3А	840—860	„	460	50	302	269
50ХГ, 50ХГА	840—870	„	450—480	43—41	302	269
50ХГР	830	„	450	41	302	269
50ХФА	840—860	„	390—410	50—46	302	269
50ХГФА	850—880	„	550	43—39	321	285
60С2ХФА	850	„	410	52	321	285

Продолжение табл. 42

Марка стали	Температура нагрева при нормализации и закалке	Закалочная среда	Отпуск		Твердость *HB*, не более	
			Температура, °С	Твердость *HRC*	Термически необработанные стали	После отжига или высокого отпуска
50ХСА	850	Масло	520	41	302	269
65С2ВА	850	„	420	52	321	285
60С2Н2А	875—890	„	420	50	302	269
60С2ХА	860	„	420	51	321	285
60СГА	860	„	420	46	302	285

43. Ориентировочные режимы термической обработки сталей для шарикоподшипников

Марка стали	Температура нагрева при закалке, °С	Отпуск	
		Температура нагрева, °С	Твердость *HRC*
ШХ6	800—825	150—170 200—220	60—62 56—58
ШХ9	825—840	150—180 200—260 260—320	60—62 60—55 55—50
ШХ15	835—855	150—200 200—300 300—400 400—500 500—600	64—61 61—56 56—49 49—41 41—28
ШХ15СГ	815—835	170—200	61—65

Примечания: 1. Охлаждающей средой для шарикоподшипниковых сталей служит масло, а для изделий простой формы, требующих высокой твердости,— керосин.

2. После закалки сталей для шарикоподшипников твердость *HRC* 62.

44. Рекомендуемый режим термической обработки магнитно-твердых сплавов (ГОСТ 17809—72)

Марка сплава	Температура нагрева, °С	Охлаждение	Отпуск	
			Температура, °С	Время выдержки, ч
ЮНД4	1250	180—300 град/мин	—	—
ЮНД8	1270	Масло	600	2
ЮНТС	1200	Воздух	—	—
ЮНДК15	1280	До 700° С со скоростью 60—300 град/мни	650	1
ЮНДК18 ЮНДК18С ЮН13ДК24 ЮН13ДК24С ЮН14ДК24 ЮН14ДК24Г2 ЮН15ДК24	1280	До 600° С в магнитном поле напряженностью не менее 160 кА/м	620	2
ЮН13ДК25А ЮН14ДК25А ЮН13ДК25БА ЮН14ДК25БА ЮН15ДК25БА	1280	До 900° С в магнитном поле напряженностью не менее 160 кА/м со скоростью 200 град/мин, до 600° С — со скоростью 25 град/мин	610	5

Продолжение табл. 44

Марка сплава	Температура нагрева, °С	Охлаждение	Отпуск	
			Температура, °С	Время выдержки, ч
ЮНДК31Т3БА	1270	До 900° С со скоростью 15 град/мин, выдержка 10 мин в изотермнческой ванне при 775° С в магнитном поле напряженностью не менее 200 кА/м	630	2
ЮНДК34Т5 ЮНДК35Т5Б	1250	До 900° С в магнитном поле напряженностью не менее 200 кА/м и со скоростью 200 град/мин, до 600° С со скоростью 20—40 град/мин	640	2
ЮНДК35Т5 ЮНДК35Т5БА ЮНДК35Т5АА	1250	До 800° С со скоростью не менее 150 град/мин и выдержка 10 мин в изотермической ванне при 795°С в магнитном поле напряженностью не менее 240 кА/м	640	5

45. Режимы термической обработки магнитных сталей

Марка стали	Нормализация		Закалка		
	Температура нагрева, °С	Выдержка, мин	Температура подогрева, °С	Температура окончательного нагрева, °С	Выдержка, мин
ЕХ3	1050	5	500—600	850	10—15
Е7В6	1200—1250	5	500—600	820—860	5
ЕХ5К5	1150—1200	5	500—650	950	10
ЕХ9К15М	1200—1240	5	—	1030—1050	10

Примечания: 1. Сталь ЕХ9К15М после нормализации подвергают отпуску при 700° С в течение 30 мин.
2. Стали указанных в таблице марок калят в масле.
3. Старение магнитов для стабилизации структуры и магнитных свойств производят в кипящей воде в течение 5—8 ч.

46. Рекомендуемые режимы закалки упрочняемых нержавеющих, жаростойких и жаропрочных сталей (ГОСТ 5632—72)

Марка стали	Температура нагрева при закалке, °С	Отпуск	
		Температура нагрева, °С	Твердость *HRC*
20Х13	1000—1050	660—700	—

Продолжение табл. 46

Марка стали	Температура нагрева при закалке, °С	Отпуск	
		Температура нагрева, °С	Твердость *HRC*
30Х13	1000—1050	200—300 300—500 500—550 550—600 600—700	51—50 50—48 48—45 45—30 30—21
40Х13	1000—1050	200—300 300—500 500—550 550—600	52—51 51—50 50—46 46—31
95Х18	1000—1050	160—200 200—500 500—600	59—54 54—52 52—42
14Х17Н2	970—1040	275—350	—

Примечания: 1. Стали указанных в таблице марок калят в масле или на воздухе.

2. Закалка в воде с температуры 1000—1100° С нержавеющих сталей ферритного, аустенитного и промежуточных типов повышает их пластичность и предохраняет от интеркристаллитной коррозии.

3. После закалки и отпуска 660—700° С стали 20Х13 $\sigma_в$ = 66 кгс/мм², δ = 16%, после закалки и отпуска 275—350° С стали 14Х17Н2 $\sigma_в$ = 110 кгс/мм², δ = 10%.

47. Ориентировочные режимы термической обработки и твердость углеродистых инструментальных сталей

Марка стали	Отжиг	Закалка		Отпуск	
	Температура нагрева, °С	Температура нагрева, °С	Твердость *HRC*	Температура нагрева, °С	Твердость *HRC*
У7, У7А	740—760	800—830	61—63	160—200 200—300 300—400 400—500 500—600	63—60 60—54 54—43 43—35 35—27
У8, У8А, У8Г, У8ГА	740—760	790—820	62—64	160—200 200—300 300—400 400—500 500—600	64—60 60—55 55—45 45—35 35—27
У9, У9А	740—760	780—810	62—65	160—200 200—300 300—400 400—500 500—600	64—62 62—56 56—47 47—37 37—28
У10, У10А	750—770	770—800	62—66	160—200 200—300 300—400 400—500	64—62 62—56 56—47 47—38

Продолжение табл. 47

Марка стали	Отжиг	Закалка		Отпуск	
	Температура нагрева, °С	Температура нагрева, °С	Твердость *HRC*	Температура нагрева, °С	Твердость *HRC*
У11, У12, У11А, У12А	750—770	760—790	62—66	160—200 200—300 300—400 400—500	65—62 62—57 57—49 49—38
У13, У13А	750—770	760—790	62—66	160—200	65—62

Примечания: 1. Твердость после отжига приведена в табл. 35.

2. Стали указанных в таблице марок калят через воду в масле.

металлического песка, не дающего пыли. Применяют также пескогидравлическую очистку, при которой изделие очищают смесью, состоящей из 50% песка и 50% воды. Эту смесь распыляют воздухом под высоким давлением.

Черные металлы очищают травлением в водных растворах серной (5—18%) или соляной (7—20%) кислоты. Для того, чтобы не перетравить изделия в раствор добавляют 1% органической присадки КС или 0,5% присадки Ж (указаны проценты от объема травильного раствора). Срок действия присадки составляет 100—150 ч, время травления — 30—120 мин в зависимости от слоя окалины. В растворе серной кислоты изделия травят при температуре 40—90° С, а в растворе соляной — при 30—60° С. С уменьшением концентрации кислоты температуру следует повышать. Наименьшая концентрация кислоты в ванне допускается 3—4%.

48. Орнентировочные режимы термической обработки и твердость легированных инструментальных сталей (ГОСТ 5950—73)

Марка стали	Температура нагрева при отжиге, °С	Закалка			Отпуск	
		Температура нагрева, °С	Охлаждающая среда	Твердость *HRC*	Температура нагрева, °С	Твердость *HRC*
Стали для режущего и измерительного инструмента						
7ХФ	800—820	820—850	Масло	60—61	160—200 200—300	60—59 59—55
8ХФ	800—820	820—850	„	61—62	160—200 200—300	62—60 60—55
9ХФ	800—820	820—850	„	61—63	200—300	60—55
11ХФ	750—770	820—850	„	62—65	140—200 200—300	64—60 60—55
13Х	780—800	800—825	„	62—65	200—300 300—400 400—500	60—55 55—50 50—41

ХВ4	780—800	820—850	„	64—67	200—300 300—400 400—500	64—60 60—53 53—48
В2Ф	780—800	800—850	Вода	62—64	150—200 200—300 300—400	62—58 58—52 52—48
9Х1	780—800	800—850	Масло	62—64	150—250	62—59
Х	780—800	835—855	„	62—65	150—200 200—300 300—400 400—500 500—600	64—61 61—55 55—49 49—41 41—35
12Х1	790—820	850—860	„	64—66	150—180	61—63
9ХС	790—810	850—880	„	61—65	150—200 200—300 300—400 400—500 500—600	64—63 63—59 59—54 54—47 47—39
ХГС	790—810	820—850	„	62	—	—

Продолжение табл. 48

Марка стали	Температура нагрева при отжиге, °С	Закалка			Отпуск	
		Температура нагрева, °С	Охлаждающая среда	Твердость *HRC*	Температура нагрева, °С	Твердость *HRC*
9ХВГ	780—800	800—830	Масло	62—64	170—230 230—275	62—60 60—56
ХВГ	780—820	820—850	»	63—65	150—200 200—300 300—400 400—500 500—600	63—62 62—58 58—52 52—46 46—37
ХВСГ	790—810	840—860	»	61—65	150—200 200—300 300—400 400—500 500—600	64—63 63—59 59—54 54—47 47—39
9Х5ВФ	840—860	950—1000	»	61—63	—	—
8Х6НФГ	830—850	950—980	»	58—62	150—210	62—58

Стали для холодных штампов

Х6ВФ	830—850	950—980	Масло	62—64	150—170 190—210	63—62 60—58
Х12	850—870	950—1000	Масло или воздух	62—64	200—400 400—500 500—600 600—700	62—58 58—56 56—50 50—43
Х12М	850—870	1000—1050	То же	62—65	200—300 300—400 400—500 500—600	62—59 59—57 57—55 55—47
Х12М	850—870	1115—1130	„	48—45	500—520 3—5-кратный	62—59
Х12Ф1	850—870	1040—1080	„	62—64	150—200 200—400	63—59 59—57
Х12ВМ	820—860	990—1010	Масло	62—63	150—270	62—57

Продолжение табл. 48

Марка стали	Температура нагрева при отжиге, °С	Закалка			Отпуск	
		Температура нагрева, °С	Охлаждающая среда	Твердость *HRC*	Температура нагрева, °С	Твердость *HRC*
7ХГ2ВМ	780—800	850—870	Воздух	60—62	160—200 200—300 300—400 400—500 500—600	60—59 59—56 56—53 53—48 48—38
6Х6В3МФС		1060—1075	Масло	60—62	525—535	60—58
Стали для горячих штампов и пресс-форм для литья						
7Х3, 8Х3	800—820	820—860	Масло	61—63	150—200 200—300 300—400 400—500 500—600	62—60 60—58 58—55 55—50 50—39
5ХНМ	790—820	820—860	„	58—60	150—200 200—300 300—400 400—500 500—600	60—58 58—53 53—48 48—43 43—35

5ХНВ	790—820	840—870	„	55—59	400—500 500—600	47—41 41—34
5ХНВС	810—830	850—870	„	55—59	500—600	41—35
5ХГМ	790—810	820—850	„	53—58	200—300 300—400 400—500 500—600	57—52 52—46 46—40 40—34
4ХМФС	790—810	860—880	„		500—570	46—36
4Х5В2ФС	850—870	1030—1050	„	52—54	500—600	52—51
4Х5МФС	840—860	1050—1070	„	56—58	560—580 600—610	50 45
4Х5МФ1С	840—860	1050—1070	„	56—58	560—580 600—610	50 45
4Х3ВМФ	810—830	980—1020	„	53—56	400—420 440—460	50 45

Продолжение табл. 48

Марка стали	Температура нагрева при отжиге, °С	Закалка			Отпуск	
		Температура нагрева, °С	Охлаждающая среда	Твердость *HRC*	Температура нагрева, °С	Твердость *HRC*
4Х4ВМФС	860—890	1050—1070	Масло	55—61	500—600	53—47
3Х3М3Ф	910—930	1050—1080	»	50—52	560—580 600—610	50 45
3Х2В8Ф	860—880	1050—1100	»	49—52	160—200 200—300 300—400 400—500 500—600	52—49 49—48 48—46 46—45 45—40
4Х2В5МФ	850—870	1050—1080	»	54—56	500—600	50—45
45Х2СВ2МФ	830—850	1050—1070	»	56—58	600—630	50—45
5Х3В3МФС	830—850	1120—1150	»	53—56	640—650 650—670	50 45

Стали для ударного инструмента

4ХС	820—840	880—890	Масло	53—56	200—250 250—350 350—450 450—550 550—650	52—52 52—50 50—46 46—38 38—31
6ХС	820—840	840—860	„	62	150—200 200—300 300—400 400—500 500—600	62—60 60—55 55—52 52—42 42—36
4ХВ2С	800—820	860—900	„	56—53	200—300 300—400 400—500 500—600	53—51 51—49 49—42 42—33
5ХВ2С	800—820	860—900	„	56—54	150—200 200—300 300—400 400—500	54—52 52—48 48—42 42—36

Продолжение табл. 48

Марка стали	Температура нагрева при отжиге, °С	Закалка			Отпуск	
		Температура нагрева, °С	Охлаждающая среда	Твердость *HRC*	Температура нагрева, °С	Твердость *HRC*
6ХВ2С	800—820	860—900	Масло	60—56	200—300 300—400 400—500 500—600	54—52 52—48 48—42 42—36
6ХВГ		850—900	"	57	—	—

Примечания: 1. Все стали, содержащие кремний, а также стали, нагреваемые до температуры свыше 1000° С, необходимо тщательно предохранять от обезуглероживания.

2. При отжиге до 550—600° С стали охлаждают со скоростью 20—40 град/ч, а затем с любой скоростью.

49. Ориентировочные режимы термической обработки быстрорежущей стали (ГОСТ 19265—73)

Марка стали	Температура отжига, °С	Температура закалки, °С
Р18	840—870	1270—1300
Р12		1225—1255
Р9		1220—1255
Р9Ф5		1230—1240
Р14Ф4		1240—1255
Р18Ф2		1270—1300
Р6М3	800—830	1220—1240
Р6М5		1220—1240
Р9К5	840—870	1220—1240
Р9К10		1220—1240
Р10К5Ф5		1230—1250
Р18К5Ф2		1270—1300
Р6М5К5		1220—1240
Р9М4К8		1220—1240

Примечания: 1. Поковки при отжиге необходимо охлаждать со скоростью не более 25 град/ч. Улучшения обрабатываемости можно достичь в результате нагрева с последующим охлаждением на воздухе, в масле или воде.

2. Охлаждающая среда при закалке — масло при температуре 40—150° С или воздух.

3. Отпуск при 560—580° С двукратный.

4. После термической обработки для повышения режущей стойкости инструмент подвергают жидкостному азотированию.

Изделия из нержавеющих сталей травят при температуре 40—50° С в ванне следующего состава: 47% соляной, 5% азотной кислоты и 48% воды. После этого их погружают на 3—5 мин в 5%-ный раствор азотной кислоты. Протравленные изделия промывают в теплой воде, затем в 0,5%-ном растворе каустической соды и сушат при температуре 120—150° С для удаления травильной хрупкости.

Изделия из нержавеющих и жаропрочных сталей рекомендуется также травить в водных растворах серной кислоты (18%-ном) или поваренной соли (3—5%-ном) при 80—90° С. Затем изделия промывают и нейтрализуют в 3—4%-ном растворе кальцинированной соды.

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%-ный водный раствор нитрита натрия, после чего заворачивают в пропитанную этим же раствором бумагу. В таком виде изделия могут храниться длительное время.

Брак при термической обработке

Основным браком при закалке являются трещины и коробление.

Для предотвращения образования трещин изделия необходимо нагревать до нижнего предела закалочных температур, применять, где это возможно, изотермическую закалку. Изделия из углеродистой стали необходимо выдерживать в воде не более 1,0—1,5 с на 5—6 мм

днаметра с последующим быстрым переиосом в масло. Отпускать нзделия следует сразу же после закалкн. Вспомогательные отверстия, близко расположенные к краям деталн, необходимо забивать, а углы без радиусов заматывать асбестовым шнуром.

Трещины, главиым образом в виде сетки, зачастую обнаруживаются после шлифования плоскостей матриц и других деталей. Эти трещины могут явиться следствием иедостаточиого времени отпуска. Отпуск прн 160—200° С в течеине времеии, иеобходимого для сквозного прогрева, снимает опасиость возникновения трещнн.

Частой причиной появлення трещнн при шлифованнн являются примеиение шлифовальных камней с характеристиками, ие отвечающими требуемым, и нарушение режнмов шлифования.

Если на шлнфовальном участке иельзя гарантировать соблюдеиие всех требуемых условий процесса шлифоваиня, то следует отмеиить охлаждение при шлифовке. Появление трещии прекратится.

Во избежание короблеиия изделие нужно греть до нижиего предела закалочных температур, прнменять закалку в горячих средах, длиные детали погружать в охлаждающую жидкость вдоль оси, а дисковые — поперек оси. Для углеродистых сталей примеиять прерывистую закалку, где возможно — ступеичатую закалку с правкой в аустенитном состоянии.

Следует особо остановиться на деформации шестерен, возннкающей в процессе термической обработкн. Устаиовлено, что иаибольшая деформация шестереи получается в результате цементации и нитроцемеитацин. После этих процессов радиальное биение зачастую превышает допустнмое. Поэтому рекомеидуется после цементацнн и нитроцементации проверять шестернн на радиальиое биенне н прн его наличии — устранять механической обработкой перед закалкой.

Цементация

Цементация в твердом карбюризаторе. Состав карбюризаторов приведен в табл. 50. Влажность карбюризатора ие должна превышать 5—7%. Для цемеитации применяют смесь из 20—30% свежего карбюризатора с 70—

50. Состав карбюризаторов, % по массе

Компонент	Номер 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	—	—	—	—	—	—	—

80% отработанного. Расстояние между деталями, а также между стеиками ящика и деталями должно быть в среднем 15 мм.

Ящик устаиавливается в нагретую до требуемой температуры печь. Для получения одинакового по глубине цемеитационного слоя всех изделий ящнк следует прогреть насквозь до 780—800° С, после чего повысить температуру до 900—950° С. Момент прогрева считают началом выдержки прн цементации (табл. 51).

51. Ориентировочная продолжительность выдержки (при 900—950° С) деталей в печи, ч, для получения заданной глубины слоя при цементации твердым карбюризатором

Размер наименьшей стороны ящика, мм	Глубина цементированного слоя, мм							
	0,25	0,5	0,7	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4
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

52. Состав паст для цемеитации, % по массе

Компоненты	Номер пасты						
	1	2	3	4	5	6	7
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 иатрий или калий	—	5—10	5—10	—	—	—	10
Муравьинокислый никель или шавелевокислый кобальт	—	5—10	—	—	—	—	—
Феррохром (для углеродистых сталей)	—	—	15	15	—	—	—
Песок	—	—	—	—	—	5	—
Желтая кровяная соль	5—10	5—10	—	15	15	20	—

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

Глубину цементации закаленного «свидетеля» можно определить по излому после отпуска на цвет побежалости: сердцевина и цементированный слой окрашиваются в разные цвета.

Цементация пастами. Порошок любой пасты (табл. 52) разводят 15%-иым раствором патоки или канцелярского клея. Пасту наносят на деталь слоем 3—4 мм и подсушивают. Температура цементации 920—930° С, ориентировочная скорость — 1 мм/ч.

Газовая цементация. В качестве карбюризатора применяют керосин, пиробензол, веретенное масло, синтин и др. Температура цементацни 900—950° С.

Оптимальный режим подачи керосина в шахтные печи приведен в табл. 53.

Глубина цементации в зависимости от времени выдержки в щахтных печах серии Ц при температуре 900—950° С дана ниже:

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

В табл. 54 приведен режим подачи керосина, которым пользуются на некоторых заводах.

Ниже приведены режимы высокотемпературной газовой цементацни в шахтиых печах, применяемые на Минском автомобильном заводе.

Режим цементацни в печи Ц60. Детали загружают в печь и нагревают их до 960° С в течение 2,5—3 ч. Через 1,5 ч после загрузки подается природный газ 0,5—0,6 м³/ч. Через час подача газа увеличнвается до 0,8 м³/ч. После выдержки в течение 8 ч детали выгружают на воздух. Глубина цементацни 1—1,3 мм.

Режим цементацни в печи Ц105. Загруженную печь нагревают до 1000° С в течение 3 ч. Через 1,5 ч после пуска печи подается природный газ — 0,6—0,8 м³/ч, а через час подача увеличивается до 0,9—1,0 м³/ч. Вы-

53. Рекомеидуемое количество капель керосииа для подачи в шахтные печи при цементации

Тип печи	Время подачи	
	в период подогрева деталей до 800—850°С	при температуре цементации
Ц25, СШЦ-03.04/10	20—40	60—70
Ц35, СШЦ-03.06/10	40—50	70—80
Ц60, СШЦ-04.06/10	70—80	110—130
Ц75, СШЦ-04.09/10	90—100	160—180
Ц90	120—140	200—220
Ц105, СШЦ-06.12/10	160—180	240—260

держка при 1000° С — 2—2,5 ч. Затем печь выключается на 3 ч. Одновременно с подстуживанием до 900° С идет процесс цементации. За 2 ч до выгрузки подача газа увеличивается до 1,2—1,3 м^3/ч. После подстуживания детали охлаждают на воздухе. Детали, идущие на механическую обработку, охлаждают в колодцах. Глубина цементации 1—1,3 мм.

Общее время процесса примерно 8—9 ч (3+2,5+3). Экономический эффект от повышения производительности

54. Количество капель керосииа, которое рекомеидуется подавать в шахтные печи при цементации [10]

Печь	Количество капель керосииа в минуту, подаваемых в первые 2—3 ч	Колнчество капель керосина в минуту, подаваемых в остальиое время
Ц25, Ц35	70—80	20
Ц60, Ц75	100—120	30—40
Ц90, Ц105	200—300	50—70

значительно превышает затраты на приобретение нагревателей, которых расходуется при цементацин по указаиному методу больше, чем в случае цементации при температуре 900—950° С.

Жидкая цементация. Состав ванны: кальцинированная сода — 70—74%, поваренная соль — 9—12%, хлористый аммоний — 8—9%, карборунд — 9—10%. Применяется карборунд черный зернистостью 25—80. Температура процесса 850—890° С.

Ниже приведена ориентировочная продолжительность цементацни в жидком карбюрнзаторе в зависимости от требуемой глубины цементации:

Глубина цемеитации, мм	Продолжительность процесса, ч
0,4	1
0,6	1,5
0,8	2
1,0	3

55. Обмазки, применяемые для защиты от цемеитации в твердом карбюризаторе

Компонент	Содержание, % по массе	Способ приготовления
Однохлористая медь	70	Порошки тщательно смешивают и разводят на спиртовом каннфольном лаке (250 г лака на 1 л этилового спирта). Обмазку наносят на изделие слоем 0,5—1 мм с помощью кисточки
Свинцовый сурик	30	

Продолжение табл. 55

Компонент	Содержание, % по массе	Способ приготовления
Кремнезем Глиозем Окись железа Окись титана Окись магния	60 35 3 0,25 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 Глина Бура Селитра натриевая Окись свинца	40 44 10 3 3	Глину хорошо растирают. Смесь замешивают на жидком стекле и ровным слоем наносят на изделие
Тальк Глина огнеупорная Вода	50 25 25	Глину хорошо растирают. Обмазку замешивают на жидком стекле до сметанообразного состояния
Шамотная глина Асбестовый порошок	90—95 5—10	Разбавляется водой до тестообразного состояния

56. Обмазки, применяемые для защиты от газовой цементации

Компоненты	Содержание, % по массе		Примечание
Маршалит	85—90		Разводится на жидком стекле
Бура	1,5—2		
Тальк	10—15		
Хромовокислый калий	12	„а"	Составы «а» и «б» приготовляют отдельно и смешивают в соотношении 1 : 1
Кальцинированная сода	7		
Поташ	4		
Жидкое стекло	77		
Маршалит	80	„б"	
Каолин	20		
Песок	44		Разводят на жидком стекле и наносят в два слоя
Глина	40		
Бура	13		
Нитрит натрия	3		
Тальк	66		Разводят на жидком стекле и наносят в два слоя
Каолин	34		
Асбестовый порошок	35		Хранить не более 2 ч с момента приготовления
Жидкое стекло	65		

Продолжение табл. 56

Компоненты	Содержание, % по массе	Примечание
Свинцовый сурик Окись алюминия Тальк Жидкое стекло	4 8 16 72	Наносят в два слоя. Пригодна для высокотемпературной цементации
Окись меди Тальк Жидкое стекло	30 20 50	Наносят в два слоя
Паста „АЗЛК" *		Наносят слой толщиной 0,25—0,35 мм

* Поставщик львовский завод «Реактив» (ТУ 6—69—1598—74).

Соли полностью заменяют через 3—4 недели непрерывной работы ванны, так как последняя густеет и плохо науглероживает.

Способы предохранения от цементации. Для предохранения от цементации участков детали, которые должны быть вязкими:

1) увеличивают припуск на глубину цементации. После цементации припуск удаляют на станках;

2) накладывают обмазки (табл. 55 и 56);

3) омедняют в цианистых ваннах. Ниже приводим необходимую толщину медного защитного слоя в зависимости от глубины цементации изделия:

Требуемая глубина цементации, мм	Толщина медного слоя, мм
До 0,8	0,02
0,8—1,2	0,03—0,05
Свыше 1,2	0,05—0,08

Температура закалки цементированных деталей приведена в табл. 57; отпускают их, как правило, при 160—200° С.

57. Температуры закалки цементированных деталей, изготовленных из различных марок сталей

Марка стали	Температура закалки, °С	Марка стали	Температура закалки, °С
10, 15, 20, 15Г, 20Г	800—820	15ХФ, 20Н2М, 20ХНР, 12ХН2, 12ХН3А, 12Х2Н4А	770—820
15Х, 20Х	780—820	15ХГН2ГА, 20ХГНТР	840—850
18ХГТ, 25ХГТ, 30ХГТ	840—860	14Х2Н3МА, 20ХН2М	770—780
27ХГР	860—880	18Х2Н4МА	860

Азотирование

Прочностное азотирование. Для азотирования ГОСТ 4543—71 предусматривает стали двух марок, содержащие алюминий,— 38Х2ЮА и 38Х2МЮА (табл. 58). Они обеспечивают наибольшую твердость (*HV* 1100) и износостойкость. Однако исследования последнего времени указывают на то, что легированные стали типа 40Х, 18ХГТ, 30ХГТ, содержащие хром, титан, молибден, никель без присадки алюминия, приобретают после азотирования твердость *HV* 600—700 и обладают высокой износостойкостью.

Стали типа 18ХГТ, 40Х азотируют при температуре 500—520° С и степени диссоциации аммиака 15—35%. За 40 ч глубина азотированного слоя достигает 0,4 мм. Твердость азотированных деталей контролируют по Виккерсу, а глубину слоя — с помощью микроскопа.

Места, не подлежащие азотированию, подвергают лужению или обмазывают жидким стеклом.

Азотирование антикоррозионное. С целью повышения коррозиостойкости детали подвергают азотированию при температуре 500—600° С в течение 1,5—2 ч при степени диссоциации аммиака 35—70%. Качество азотированной поверхности контролируют погружением в 10%-ный водный раствор медного купороса на 1—2 мин. В местах пор и других дефектов осаждается медь.

Низкотемпературное жидкостное азотирование деталей и инструмента

Описываемый процесс полностью заменяет собою жидкостное низкотемпературное цианирование на основе цианистых солей.

Жидкостному азотированию подвергают детали из конструкционных сталей типа 20, 45, 20Х, 40Х, инструментальных сталей для штампов и пресс-форм с целью повышения износостойкости и из быстрорежущей стали

Режим азотирования	Вариант	I ступень		
		Температура, °С	Степень диссоциации, %	Время, ч
Одноступенчатый	1	480—520	20—25	До 90
	2	540—560	30—50	36—65
Двухступенчатый	1	500—510	Меньше 25	18—20
	2	540—560	30	10
Трехступенчатый*	1	510—530	15—30	12

* Подъем и снижение температуры между ступенями

для повышения режущей стойкости. Процесс пронзводится при 560—580° С в течение 4—6 ч для конструкционных сталей и 8—30 мин для быстрорежущих сталей. Глубина слоя прн выдержке 4—6 ч составляет до 0,3 мм. Ввиду того, что наружный карбонитридный наиболее износостойкий слой составляет примерно 0,02 мм, детали нельзя шлифовать, а только слегка полировать.

Деформацня при жидкостном азотировании практнчески отсутствует. Технологическая схема жидкостного азотирования следующая: обезжиривание изделнй; азотирование; промывка в холодной воде; промывка в горячей воде.

Ванна составляется из цианата натрия, изготовляемого чернореченским хнмкомбннатом им. Калинина в г. Дзержинске по ТУ 6—03—22—73, кальцинированной соды и хлористого калия.

рования стали 38Х2МЮА

II ступень			III ступень			Глубина азотированного слоя, мм
Температура, °С	Степень диссоциации, %	Время, ч	Температура, °С	Степень диссоциации, %	Время, ч	
—	—	—	—	—	—	0,5—0,7
—	—	—	—	—	—	0,5—0,6
550—570	35—55	20—24	—	—	—	0,5—0,7
570	30	8	—	—	—	0,35—0,45
550—560	40—50	12	510—530	56—65	12	0,5—0,8

осуществляется в течение 2 ч.

Цианат натрия можно изготовить на любом заводе путем сплавления карбамида (мочевины, ГОСТ 2081—63) и кальцинированной соды (ГОСТ 5100—73) в следующей пропорции: на 1 кг соды — 1,5 кг мочевины. Все указанные соли, в том числе и цианат, являются иеядовитыми и хранятся в цехе в общем порядке.

Сплавленный цианат выливается в противни высотой 30—40 мм и после остывания раскалывается на куски. Неодинаковый цвет застывшего цианата не является браковочным признаком. Объем выплавленного цианата примерно в 2—2,5 раза меньше объема смеси солей.

Рабочая ванна для жидкостного азотирования сплавляется из смесн следующих солей: цианат натрия — 42%, кальциинрованная сода — 26% н хлористый калий — 32%.

Оптимальный состав ванны — NaCNO (45%); Na_2CO_3 (23%); KCl (32%).

При понижении содержания цианата и увеличении содержания соды в ванну добавляют мочевину из такого расчета: 2—2,5 кг мочевины, введенные в ванну емкостью 100 кг, повышают содержание цианата натрия примерно на 1%.

Инструмент из быстрорежущих сталей и высоколегированных инструментальных сталей после азотирования охлаждают на воздухе, после чего промывают. Следует учесть, что в ванне образуется незначительное количество цианидов (примерно до 3%). Поэтому промывные воды перед спуском в канализацию подлежат обезвреживанию гипохлоритом кальция $CaOCl_2$ по следующей схеме: производится анализ воды и определяется колнчество цианидов в одном литре воды; полученное количество умножается на число литров воды в баке, в результате этого определяется общее число цианидов в баке.

Для нейтрализации 1 г цианидов в бак вводится 150 г гипохлорита кальция, после чего смесь перемешивается в течение 20 мин, снова делается анализ и при достаточном уровне нейтрализации отработанный расплав выпускается в канализацию.

Пример. В соответствии с анализом концентрация цианидов в воде — 22,4 *мг/л*. Бак объемом 1600 литров содержит цианидов

$$22{,}2 \text{ мг} \times 1600 = 3520 \text{ мг } (36 \text{ г}).$$

Требуется гипохлорита кальция

$$150 \text{ г} \times 36 = 5{,}4 \text{ кг}.$$

Цианирование

Высокотемпературное газовое цианирование (нитроцементация). Цианирующая смесь состоит из 15—30% аммиака и 85—70% науглероживающего газа. Температура цианирования 840—860° С. Скорость цианирования 0,12—0,16 мм/ч. Калят изделия непосредственно с температуры цианирования. Отпускают при 160—180° С. Для предохранения от цианирования поверхности омедняют. Толщина слоя меди примерно 0,02 мм.

Низкотемпературное газовое цианирование. Состав цианирующей среды такой же, как и при нитроцементации. Температура цианирования 540—560° С, скорость — примерно 0,02 мм/ч.

59. Составы ванн высокотемпературного цианирования, % по массе

№ состава	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	—	—	—	34	66	—	—	3**
7	—	9	—	37	54	—	—	—
8	—	—	—	35	—	—	35	30

*См. табл. 51.
** От массы смеси хлористого натрия и хлористого кальция.

Высокотемпературное жидкое цианирование (нитроцементация). Температура при обычном высокотемпературном жидком цианировании 830—860° С, при глубоком— 900—950° С. Скорость цианирования — 0,2 мм/ч при температуре 850° С. Охлаждение в жидкости, применяемой для данной стали при закалке. В табл. 59 приведены составы ванн для высокотемпературного цианирования.

Состав № 6 применяется на Минском автомобильном заводе (табл. 60). Цианнрованне производят в электродносоляных ваннах без металлических тиглей. Оптимальная температура процесса 840° С. Истощение ванны С-100 компенсируют добавкой 0,5 кг желтой кровяной соли через каждые 30 мнн.

60. Глубина цианированного слоя в зависнмости от выдержки в ванне состава № 6

Время, ч	Глубина слоя, мм	Твердость *HRC*	Время, ч	Глубина слоя, мм	Твердость *HRC*
0,5	0,17	57,5	2	0,35	62
1	0,2	61	3	0,45	60

Примечание. Детали калят с температуры нагрева прн цианировании.

Низкотемпературное твердое цианирование. Состав смесн: 60—80% древесного угля и 40—20% желтой кровяной соли. Приготовление смеси и упаковка в ящнки такие же, как и при твердой цементации. Температура процесса 540—560° С. Глубина цианировання примерно 0,02 мм за час. Прн определенин времени цнанирования следует учитывать продолжительность прогрева ящика с карбюратором при 550° С.

Борирование

При борировании поверхность углеродистой н среднелегированной стали насыщается бором с целью значительного повышения сопротивления износу в абразивной среде. Наиболее распространен процесс электролизного борирования в расплавленной буре в шахтных печах

типа Ц. Температура процесса 930—950° С, выдержка 2—4 ч, плотиость тока 0,15—0,25 А/см². Глубина слоя примерно 0,1—0,3 мм. Для увеличения прочности подслоя борированные детали подвергают закалке. Твердость борнрованного слоя достигает *HRC* 70—75.

Брак. Профилактика и способы исправления

Брак при цементации. Разъеда́ние поверхности происходнт нз-за загрязнения карбюризатора сернокислыми слоями. Цементация прн высокой температуре, примеиение сильного карбюризатора, а также длительная выдержка приводят к завышенню глубины цементированного слоя. Пятнистость является следствием плохой укладкн, приводящей к тому, что детали неравномерно омываются газом. При перегрузке печи деталями и недостаточной подаче карбюризатора концентрация углерода в цементированном слое н глубнна цементации занижены. Для исправленія брака детали с низкой концентрацией углерода в цементированном слое и недостаточной глубнной цементации следует цементировать повторно.

Брак при газовом азотировании. В основном связан с короблеиием длинных деталей и деформацией («распуханием») деталей типа втулок. Для предотвращенія брака длнинные детали азотируют в подвешенном состоянии, а также подвергают стабилизацин при 650° С перед окончательной механнческой обработкой. Чтобы «распухание» не приводило к браку, детали изготовляют с припуском иа окончательную механическую обработку.

Хрупкость азотированного слоя уменьшают, выдерживая детали в среде полностью диссоциированного аммиака сразу после окончания азотирования прн той же температуре в течение 1 ч.

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НЕКОТОРЫХ ИНСТРУМЕНТОВ И ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Инструмент

Режущий инструмент. В сварном инструменте швов нагревать не следует. Длинный инструмент надо греть и охлаждать в подвешенном состоянии. Дисковые резцы из углеродистой стали перед закалкой надо прорезать в трех местах миллиметровой фрезой. 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 ваннах сначала закаливают хвостовик, а затем режущую часть, а в инструменте из быстрорежущей стали — сначала режущую часть, потом хвостовик.

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

Измерительный инструмент. Отпуск измерительного инструмента производится дважды: первый раз после закалки для снятия закалочных напряжений, второй — после шлифования для снятия напряжений и предотвращения появления деформации при хранении (искусственное старение). Температура старения не должна превышать температуру первого отпуска. Длительность старения — 2.5 ч с момента прогрева в зависимости от размера инструмента. Длинные инструменты следует нагревать при старении в подвешенном состоянии.

Для определения глубины цементации измерительного инструмента в зависимости от его толщины пользуются следующими данными

Толщина инструмента, мм	Глубина цементации, мм
3—5	0,3—0,5
5—10	0,5—0,8
10—15	0,6—0,9
Св. 15	0,8—1,0

Штампы для горячей штамповки. Для закалки мелкие и средние штампы 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 штамп нужно погружать вверх зеркалом.

Пресс-формы для литья под давлением алюминиевых сплавов. Если они изготовлены из стали 3Х2В8Ф, рекомендуется улучшать заготовку на твердость *HRC* 30—34, а после механнческой обработки азотировать на глубину примерио 0,08—0,25 мм. Пресс-формы, предназначенные для литья под давлением медиых сплавов, рекомендуется закалить на твердость *HRC* 40—45, окончательно обработать и азотировать на глубину до 0,1—0,2 мм. Азотирование уменьшает налипаемость и увеличивает стойкость пресс-форм.

Пресс-формы для пластмасс сложной конфигурации. Изготовляются из стали 12ХН3А, цемеитируются на 0,8—1,0 мм и закаляются на твердость *HRC* 55—60. Наименьшей деформации добнваются в том случае, когда заготовку из стали 12ХН3А перед механической обработкой калят с температуры 900—920° С и отпускают при 650—680° С. Последующие механическая обработка, цементацня и закалка выполняются без изменений.

Для уменьшения деформацин на некоторых заводах пресс-формы из стали 12ХН3А после цементации закаливают на воздухе на твердость *HRC* 50—55.

Штампы для холодной штамповки. Штампы, изготовленные из сталей У8—У11, толщиной до 20 мм рекомендуется калить в расплаве щелочи при температуре

150—170° С. Штампы с большей толщиной калят через воду в масле, предварительно забив вспомогательные отверстия асбестом, энергично перемещая штампы в ванне и выдерживая в подсоленной воде не более 1,5 с на 5—6 мм толщины. Переносить штампы из воды в масло надо моментально, чтобы не отпустить штамп. Для уменьшения деформацни штамп прогревают до ннжнего предела закалочиых температур. Заготовки из сталей с содержанием хрома 12%, идущие на изготовление штампов со сложной фигурой, рекомендуется с целью уменьшения деформации при закалке ковать в трех взаимно перпендикулярных направлениях, калить на спокойном воздухе или в расплаве щелочи или селитры при температуре 430—470° С, выдерживать в закалочной среде 30—60 мин, а затем выставлять на воздух. Самая малая деформация получается после охлаждения штампа от температуры закалки в отпускной печи с температурой 430—470° С. При этой температуре выдерживают 1,5—2 ч, а затем охлаждают на спокойном воздухе. После такой обработки достигается твердость *HRC* 60.

Если вследствие деформации наружные размеры штампа уменьшатся, то для восстановления размеров его следует отпустить при 520° С в течение 15—30 мин. В случае, когда после одного отпуска размеры полностью не восстановятся, отпуск повторяют (тепловая доводка).

Штампы из других легированных сталей с целью уменьшения деформации подвергают ступенчатой закалке. Применяется также улучшение (закалка и высокий отпуск), которое следует выполнять перед окончательной механической обработкой штампа. В настоящее время для особо сложных штампов предложена [3] новая сталь 7ХГ2ВМ, закалнвающаяся с температуры 840—860° С на воздухе, в сечении до 100 мм на твердость *HRC* 60 и малодеформнрующаяся.

Слесарный инструмент. Плоскогубцы и другой составной инструмент следует калить в собранном виде с полностью раскрытыми губками. Режущую часть кровельных ножниц калят до отверстий в разобранном виде.

Рекомендуемые твердости инструмента *HRC*

Режущий инструмент из быстрорежущих сталей	62—65
Режущий инструмент из углеродистых и легированных сталей, кроме круглых плашек *	61—64
Плашки круглые (лерки)	58—62
Полотна ножевочные	58—61
Мерительный инструмент из любых сталей	56—64
Штампы для горячей штамповки **	35—45
Пресс-формы для литья (каленые)	43—50
Штампы для холодной штамповки	54—60
Слесарный инструмент:	
зубила, крейцмейсели, кернеры	52—57
кусачки, комбинированные плоскогубцы	52—60
обжимки	48—54
плоскогубцы, ручные тисочки	42—50
отвертки	46—52
клейма	54—58
молотки	49—56
ключи гаечные цементированные	48—54
» из нецементированной стали	40—45
Пневматический инструмент:	
зубила и пробойники	56—59
обжимки и выколотки	53—56
Кузнечный инструмент:	
кувалды	49—56
топоры	48—52
зубила и обжимки	50—56

---

* Сверла, концевые фрезы и метчики диаметром до 6 мм и отрезные фрезы толщиной до 1 мм выпускаются с твердостью, меньшей на единицу по Роквеллу.

** Чем глубже ручьи штампа и чем больше габаритные размеры его, тем мягче должен быть штамп.

Медницко-жестяницкий инструмент:
ножницы кровельные . . . . . 52—60
остальной инструмент . . . . . 45—50
Деревообделочный инструмент:
сверла, фрезы, ножи строгальные, долота . . . . . 56—58
пилы круглые . . . . . 40—42
ножи для рубанка . . . . . 56—60
стамески . . . . . 53—58
топоры . . . . . 50—56
клещи столярные . . . . . 43—50

Детали машин

Рекомендуемая твердость *HRC* некоторых деталей станков

Шпиндели, работающие в подшипниках скольжения:
сильнонагруженные (цементированные) . . . . . 56—62
средненагруженные . . . . . 45—50
Шпиндели, работающие в подшипниках качения.
сильнонагруженные . . . . . 45—50
средненагруженные . . . . . 35—42
Центра . . . . . 55—58
Цанговые патроны:
рабочая часть . . . . . 58—62
хвостовая часть . . . . . 40—45

Рекомендуемая твердость *HRC* некоторых деталей автомашин

Втулки ремонтные . . . . . 56—62
Валы коленчатые 56
» распределительные 56
Клапаны впускные 56
» выпускные 45
Кольца поршневые . . . . . 98—106 *

* Твердость *HRB*.

Нормализованные крепежные детали 28—35
Нормализованные детали, работающие на трение . . . . . 50—60
Пальцы поршневые 56
» шаровые 56
Пальцы рессорные 56
Шкворни поворотного кулака . . . 56

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО НАЗНАЧЕНИЮ ТЕХНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И ВЫБОРУ МАТЕРИАЛА ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКИ ОБРАБАТЫВАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ

Общие положения

Нередки случаи, когда к деталям, поступающим на термическую обработку, предъявляются такие требования или же конструкция их такова, что термическая обработка крайне затруднена. Зачастую требования чертежа к термической обработке вообще невыполнимы.

Приступая к термической обработке деталей, термист должен быть уверен в том, что выполнение технических условий, предъявленных к детали, осуществимо. Если выполнение этих условий невозможно из-за неправильного выбора марки стали, завышенных требований к механическим свойствам или же по конструктивным или другим соображениям, необходимо добиться внесения соответствующих изменеинй в чертеж детали. Для этого очень важно знать, как влияет величина зерна и прокаливаемость на качество деталей, какие технические условия и способы термической обработки обеспечивают высокую износостойкость и усталостную прочность, какие режимы термической обработки дадут наилучшие сочетаиия прочности и пластичиости при улучшенни. Необходимо также знать, в каких случаях требуется термическая обработка чугунных отливок и свариых конструкций, а в каких случаях оиа не иужна.

Зернистость стали

В изломе стальиой детали видны зерна различной величнны, которая зависнт от режима нагрева при горячей механической или термической обработке. Нагрев до слишком высоких температур вызывает рост зерен аустеиита. После охлаждеиия перегретой крупнозериистой стали аустеиит распадается, и вместо него образуются другие структуры, соответствующие данной скорости охлаждеиия. Одиако независимо от того, будут ли зерна структур, образовавшихся из перегретого аустенита, такими же крупиыми или меньше исходных, сталь будет иметь поиижеиные механические свойства, особенно ударную вязкость. Зерно, образовавшееся в результате термической обработкн, называется действительным зерном стали. По величине действительного зериа сталь характеризуют как крупнозернистую или мелкозериистую. При правильно проведенной термической обработке можно получить сталь с мелким действительиым зерном.

Не все стали одииаково чувствительиы к перегреву. Стали одной и той же марки, одинакового химического состава, ио разных плавок по-разиому реагируют иа длительиость пребываиия при температурах выше критических. В сталн одних плавок образовавшиеся зерна аустеиита при дальиейшем повышеиии температуры беспрерывно увелнчиваются, в то же время в стали других плавок зериа ие растут примерио до 930—950° С и лишь при температурах, выше этих, начннается их быстрый рост.

Стали, в которых зерна аустенита иачинают увеличиваться с повышеиием температуры сверх 730° С, иазываются наследствеиио (или природио) крупнозернистыми. Стали, в которых рост зереи начииается лишь при температурах свыше 930° С, называются иаследствеино (или природио) мелкозериистыми. При крупном исходном размере зериа перлнта иачальиое зерно аустеиита получается мелким, а дальиейший рост зерна аустеиита зависит от иаследствеииости сталн (рис. 4).

Скорость роста зереи аустеннта стали разных плавок определяется способом их раскислеиия. При раскислении

кремиием или марганцем всегда получается иаследствен-
но крупиозернистая сталь. После раскисления алюми-
нием или титаиом сталь получается иаследствеиио мел-
козериистой. Существует миеиие, что в стали, раскислен-
ной алюмииием, между зериами аустеиита располагаются
мельчайшие окислы, нитриды
алюминия и подобиые части-
цы, препятствующие росту
зерен аустенита. После того
как эти частицы растворят-
ся, что происходит примерно
при 930—950° С, начинается
быстрый рост зерен аустеии-
та. Примеияя тот или иной
раскислитель и регулируя
его количество, металлурги
могут выплавлять сталь с за-
данной зерннстостью.

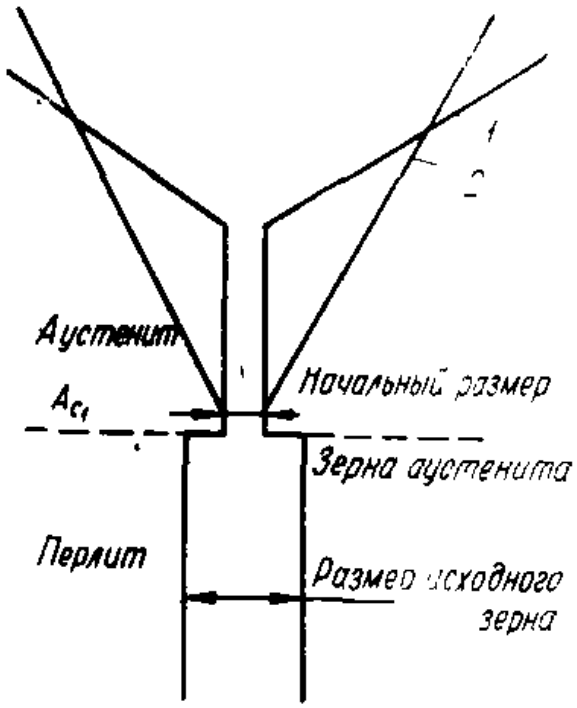


Рис. 4. Схема роста зер-
на иаследственно мелко-
зернистой (*1*) и крупно-
зернистой (*2*) сталей.

На механические свойст-
ва влияет величина действи-
тельного зерна, а не наслед-
ственного. Величина наслед-
ственного зерна аустеиита
определяет чувствительиость
к перегреву и склонность к
деформациям при термиче-
ской обработке. Наследст-
веиио крупнозернистая сталь
при термической обработке
прокаливается глубже и де-
формируется больше, чем наследственно мелкозернистая.

Установлено также, что с повышением температуры закалки прокаливаемость стали увеличивается. В то же время повышеиие температуры закалки связано с ростом зериа.

Температура закалкн углеродистых и большиистваа легированных сталей ниже 950° С, поэтому правильный подбор иаследствеиной зериистости стали поможет обеспечить высокое качество термообработаиных деталей. Так, для изготовлеиия деталей, подвергающихся длительному нагреву при высоких температурах (цементация, бориро-

ванне и т. п.), следует применять наследственно мелкозернистые стали, для деталей, которым необходима большая прокаливаемость,— наследственно крупнозернистые стали. Нешлифуемые шестерни изготовляют из сталей с наименьшим размером природного зерна. В табл. 61

61. Брак из-за деформации шестерен в зависимости от величины зерна и глубины прокаливаемости стали

Зернистость (ГОСТ 5639—65)	Твердость *HRC* на глубине 9 мм от торца	Брак после хонингования, %
7—8	35	0,39
6—7	42	1,47
5—7	45	3,32

приведены данные о браке из-за деформации шестерен с разной величиной зерна и глубиной прокаливаемости.

Если наследственно мелкозернистую сталь перегреть, то после закалки получим действительное крупное зерно. Поэтому следует тщательно соблюдать режимы при термической обработке как крупнозернистой, так и мелкозернистой стали.

ГОСТ 5639—65 регламентирует зернистость по баллам. Для первого балла в 1 мм^2 должно поместиться 16 зерен, а в каждом следующем балле — в два раза больше предыдущего. Таким образом, для восьмого балла в 1 мм^2 должно поместиться 2048 зерен.

Закаливаемость и прокаливаемость стали

Закаливаемостью называют способность стали приобретать высокую твердость поверхности (структуру мартенсита) при скорости охлаждения выше критической

скорости закалки *. Закаливаемость зависит главным образом от содержания углерода в стали и характеризуется графиком (рис. 5). Приведенные на рисунке твердости соответствуют тонким образцам при закалке в лабораторных условиях. В цехе, как правнло, трудно выдержать такие же условия, и твердость будет несколько меньше.

В табл. 62 приведены даиные о твердости образцов диаметром 25 мм из разиых марок сталей после закалки в воде. Наибольшие и наименьшие значеиия твердости взяты из полос прокаливаемости, помещенных в ГОСТ 4543—71. Разница в твердостн после закалки легированных сталей в воде или в масле для деталей малых днаметров практически неощутима, а при больших диаметрах довольио велика (табл 63). Закалка углеродистых сталей в масле неэффективиа. Исключение составляют детали малых диаметров. Например, кольца из стали 45 диаметром 43 мм при толщиие стенки 4 мм и высоте 6 мм закаливаются в воде на *HRC* 58—60, а в масле — на *HRC* 50—52. После отпуска прн 300° С и те и другие кольца приобретают твердость *HRC* 50.

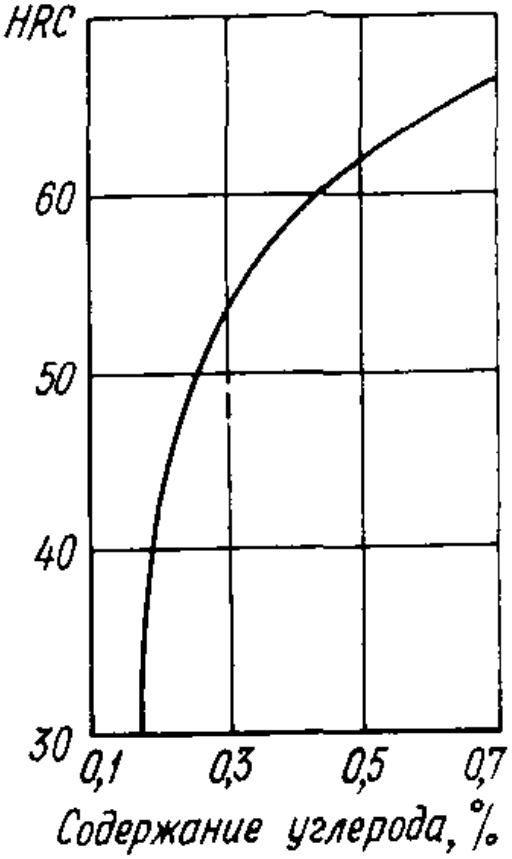


Рис. 5. Зависимость твердости закаленной стали от содержания углерода.

Размеры нзделия оказывают влияние на максимальную твердость поверхиости после закалки. Чем больше сечеиие детали, тем с меньшей скоростью охлаждается ее поверхность

---

* Критическая скорость закалки — нанменьшая скорость охлаждения, при которой аустенит превращается в мартенсит.

62. Твердость образцов днаметром 25 мм из некоторых марок сталей после закалкн в воде

Марка стали	Твердость *HRC*		Марка стали	Твердость *HRC*	
	наибольшая	иаимеиьшая		наибольшая	иаименьшая
35	57	49	18ХГТ	49	40
40	58	50	30ХГТ	52	42
45	59	50	27ХГР	52	43
55	62	56	40ХФА	59	50
60	62	56	30ХМ	53	48
30Г	53*	—	35ХМ	56	47
40Г	58	50	38ХС	56	47
50Г	61	52	40ХН	58	51
65Г	64	57	12ХН2	34*	—
35Г2	57*	—	12ХН3А	42	37
40Г2	59	52	20ХН3А	50	42
45Г2	60	52	30ХГСА	54	49
20Х	48	38	25ХГСНТ	45*	—
40Х	60	50	40ХНМА	59	48
50Х	64	58	38Х2МЮА	50*	—
20ХР	46*	—	55С2	59*	—
35ХРА	54	49	60С2	63	53

* Приведены средиие зиачеиия твердости.

из-за большого количества тепла, отдаваемого сердцевиной, и тем иа меиьшую твердость оиа закалится.

Прокаливаемостью иазывается способиость стали закаливаться иа определеииую глубину от поверхиости к центру. Глубиа прокаливаемости конструкционных сталей, согласио ГОСТ 5657—69,— это расстояиие от поверхности до полумартеиситиой зоны. Полумартенситной зоной называют слой структуры, состоящий из 50% мартеисита и 50% троостита. Твердость этой зоиы приведена в табл. 64.

63. Твердость поверхностей образцов из легированных и углеродистых сталей после закалки в воде и в масле в зависимости от диаметра

Марка стали	Диаметр, мм	Твердость *HRC* после охлаждения		Марка стали	Диаметр, мм	Твердость *HRC* после охлаждения	
		в воде	в масле			в воде	в масле
40Х	20	53	52	45	12,5	60	28
	50	52	48		25	58	28
	100	49	35		50	42	27
					75	35	23
					100	30	23
40	20	56	26		125	24	17
	80	31	25				

64. Нижний предел твердости полумартенситной зоны для сталей с разным содержанием углерода

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

Как известно, мартенсит и троостит являются твердыми структурами. Их твердость зависит от содержания углерода. При малом содержании его, как видно из табл. 64, полумартенситная зона имеет низкую твердость.

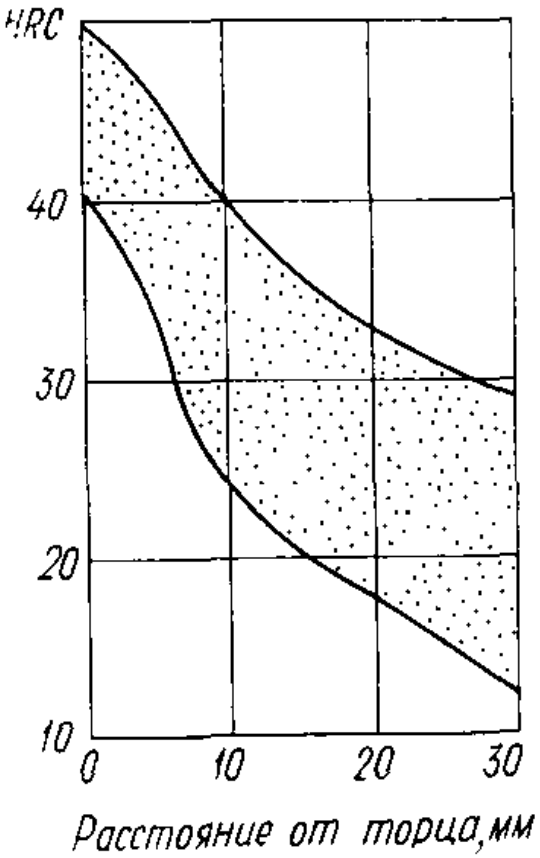


Рис. 6. Полоса прокаливаемости стали 18ХГТ.

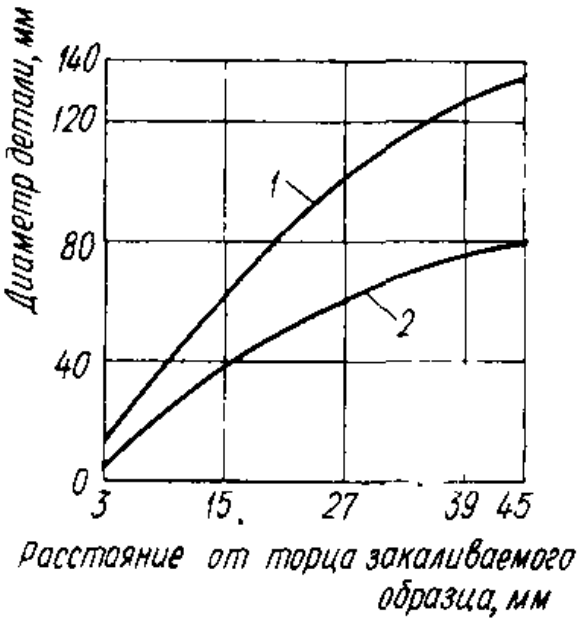


Рис. 7. График для определения прокаливаемости цилиидрических деталей при закалке: *1* — в воде; *2* — в масле.

Прокаливаемость зависит от наличия в стали легирующих элементов и охлаждающей способности закалочной среды. Для повышения прокаливаемости сталь легируют бором, маргаицем, молибденом, хромом, никелем. В ГОСТ 4543—71 приведены полосы прокаливаемости ряда марок сталей. Эти полосы составлены на основании проверки прокаливаемости большого количества плавок мето-

дом торцовой закалки (по ГОСТ 5657—69). Полоса прокаливаемости стали 18ХГТ, приведенная на рис. 6, составлена на основании проверки образцов 120 плавок. Разница в твердости является главным образом результатом неодинакового химического состава разных плавок. По графику полосы прокаливаемости определяют твердость стали на разных расстояниях от закаливаемого торца.

65. Твердость закаленных (неотпущенных) образцов из стали 40 в зависимости от их сечения

Диаметр заготовки, мм	Охлаждающая жидкость	Расстояние от поверхности, мм				
		0	5	10	25	40
20	Вода	56	41	37	—	—
	Масло	26	26	26	—	—
80	Вода	31	29	27	23	20
	Масло	25	24	22	20	16

Для определения глубины прокаливаемости цилиндрических изделий пользуются графиком, приведенным на рис. 7.

Кроме этого, на глубину прокаливаемости влияет величина зерна аустенита в момент окончания нагрева детали. Чем больше вырастет зерно, тем глубже прокалится изделие. Рост зерна аустенита раньше начинается у наследственно крупнозернистой стали, и поэтому она прокаливается глубже. Однако если нагреть наследственно мелкозернистую сталь до высокой температуры, обеспечивающей рост зерна аустенита, то и она прокалится глубже. На рис. 8 приведен график зависимости глубины прокаливаемости среднеуглеродистой стали от размера зерна аустенита.

Глубина прокаливаемости зависит также от размера закаливаемого изделия (табл. 65).

Прокаливаемость имеет решающее значение в обеспечении прочности сердцевины ответственных деталей.

66. Полумартенситная и ферритная прокаливаемость некоторых марок сталей

Марка стали	Наибольшие диаметры изделий, мм, прокаливающихся			
	на полумартенсит и мартенсит		на мартенсит, троостит и сорбит	
	в воде	в масле	в воде	в масле
40 45	20	6	60	—
50Г	40	20	60	40
50Г2	60	40	—	—
40Х	60	40	100	60
33ХС 38ХС	—	40	—	—
30ХГСА	—	40	—	—
30ХГСН2А	—	50	—	—
18ХГТ	—	20	—	—
30ХГТ	—	20	—	60
18ХНВА 25ХНВА	—	150	—	—
40ХН2МА	—	120	—	—
25ХГМ	—	60	—	90
30ХМА 35ХМА	55	40	—	—
40ХФА	—	30—33	—	—
20ХН4ФА 30ХН2ВФА	—	120	—	—

Поэтому, выбирая сталь, иужио руководствоваться не только химическим составом, ио и глубиной прокаливаемости.

Однако не всегда детали после закалки и отпуска должиы иметь наибольшие механические свойства в поверхностиых и цеитральных зонах детали, что соответствует закалке иа полумартенсит. В ряде случаев достаточно, чтобы при улучшеиии в структуре стали ие появился феррит (так называемая ферритиая прокаливаемость) — структура, резко сиижающая ударную вязкость стали. В этих случаях необходимо зиать, при каком сечеиии сталь прокалится иа мартенсит, троостит или сорбит, но без выделения феррита.

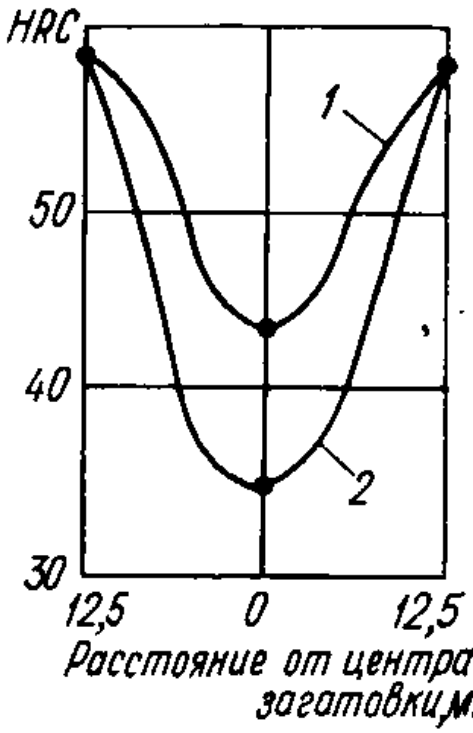


Рис. 8. Прокаливаемость в зависимости от величиины зерна стали: *1* — крупнозернистой; *2* — мелкозернистой.

В связи с тем, что отсутствуют систематические даииые, определяющие возможиость сквозного улучшения разных марок сталей, в табл. 66 приводятся лишь ориентировочиые полумартенситная и ферритная прокаливаемости некоторых марок сталей. Стали при закалке резко охлаждали в воде при температуре не выше 25° С и в масле при температуре не ниже 40° С, энергичио перемешнвая жндкость или покачивая изделие.

Зависимость механических свойств улучшаемых сталей от их структурного состояния и размеров деталей

Улучшением называют вид термической обработки, состоящий из закалки н отпуска при температуре 500—650° С. После улучшения сталь приобретает высокую вязкость, требуемый по расчету предел текучести и временное сопротнвление разрыву, т. е. иаилучшее сочетание прочностных и пластическнх характеристик.

Улучшению в осиовном подвергают изделия из конструкциониых нецементируемых сталей. Оптимальные свойства улучшеиной стали соответствуют структуре сорбита в иаиболее дисперсном (мелкораздробленном) состоянии *. Такой сорбит образуется в результате отпуска закаленной на мартенсит стални.

Если произойдет неполная закалка и образуется не мартенсит, а другая, промежуточиая структура, то после отпуска при высокой температуре сорбит, образовавшийся из этой структуры, будет более крупного строения, а следовательно, несколько пониженных механических свойств. Неполная закалка получается не только в результате иеправильного режима, но также нз-за недостаточной прокаливаемости стали или больших размеров закаливаемого изделия. В этом случае после закалки по сечению образуются разные структуры. При закалке прутка большого диаметра центральная часть его не закалнвается, хотя твердость и другне механические свойства в ней повышаются по сравиенню с твердостью и механнческнми свойствами отожженого металла.

Что касается механических свойств в остальной, закалнвшейся части прутка, то они по сечению будут иеодниаковымн. В той частн прутка, где после закалки образовался мартенсит, а из него после отпуска сорбит,

* Имеется в виду особо тоикое и равномерное распределеиие карбидов.

последиий будет иметь лучшее сочетание предела текучести, относительного сужения и ударной вязкости, чем сорбит, образовавшийся из троостита или иепосредственно в результате закалки. Предел прочности, твердость, относительное удлинение будут примерио одинаковы для всей закалившейся зоиы.

Если в улучшеиной стали иаряду с сорбнтом имеется феррит (см. табл. 12), то ухудшаются все механические характеристики. Наличие феррнта в деталях, испытывающих усталостные нагрузки, является одной нз осиовных причин их разрушения [1].

Итак, если необходимо, чтобы механические свойства были одинаковыми по всему сечению, то надо прнменять сталь, которая после закалки будет иметь в центре структуру мартенсита или полумартеисита. В такой стали после высокого отпуска механические свойства будут одинаковыми по сечению заготовки.

Для изготовления деталей менее ответственных, в которых механические характеристнки должны быть высокими, но по сечению могут быть неодинаковыми, следует примеиять сталь, которая после улучшения по всему сечению в структуре не будет иметь феррита. Такую же сталь можно примеиять для изготовления деталей с большими сеченнями, если от них требуется только более высокая прочность по сравнению с отожжеииым металлом. При этом структура, как правило, будет состоять из феррита и перлита более мелкого строения, чем после отжига.

Улучшение деталей в готовом виде иеизбежно связаио с короблением, образованием трещнн и окалнны, обгаром резьбы н т. п. Во избежание этого следует улучшать заготовки деталей до твердости, позволяющей рационально производить дальиейшую механическую обработку. Эта твердость для углероднстых сталей не должна превышать *HRC* 25, а для легнрованных — может быть выше, в зависнмости от марки стали.

Мерой эффективности улучшения считается отношеиие предела текучести к временному сопротивлению разрыва — $\frac{\sigma}{\sigma_в}$. Для определеиия режима высокого отпуска

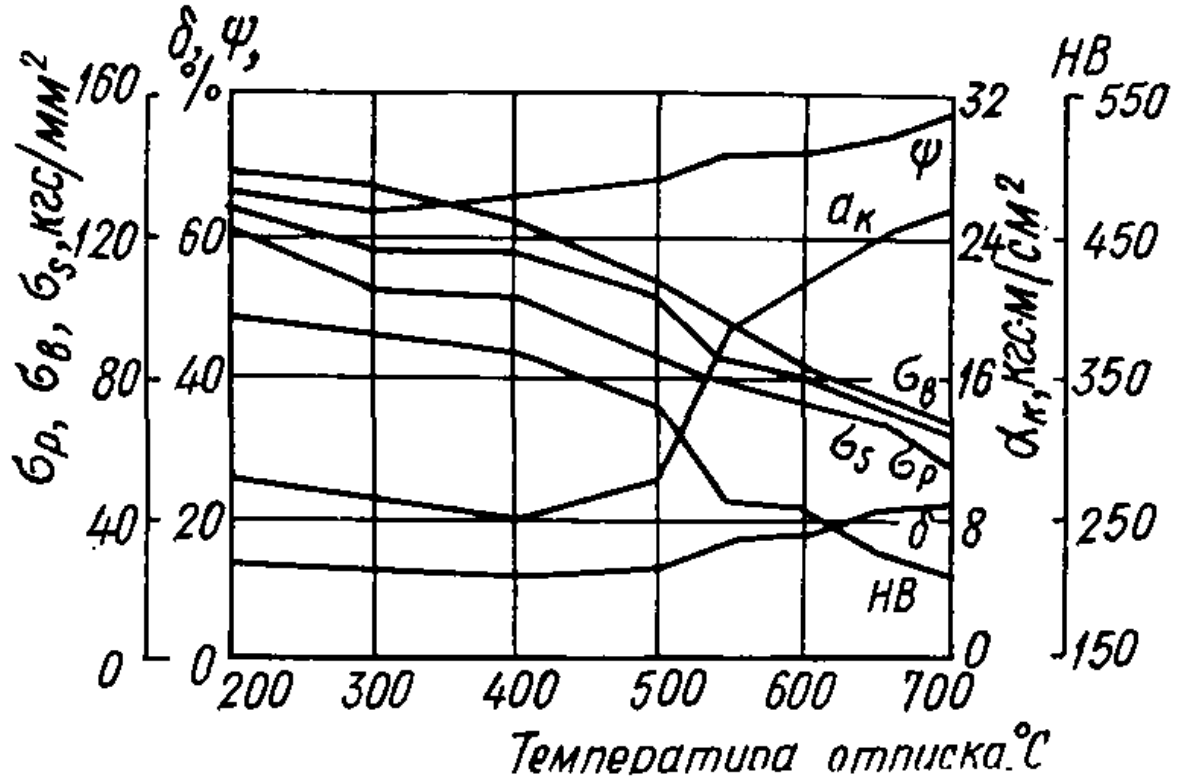


Рис. 9. Диаграмма улучшения стали 18ХГТ.

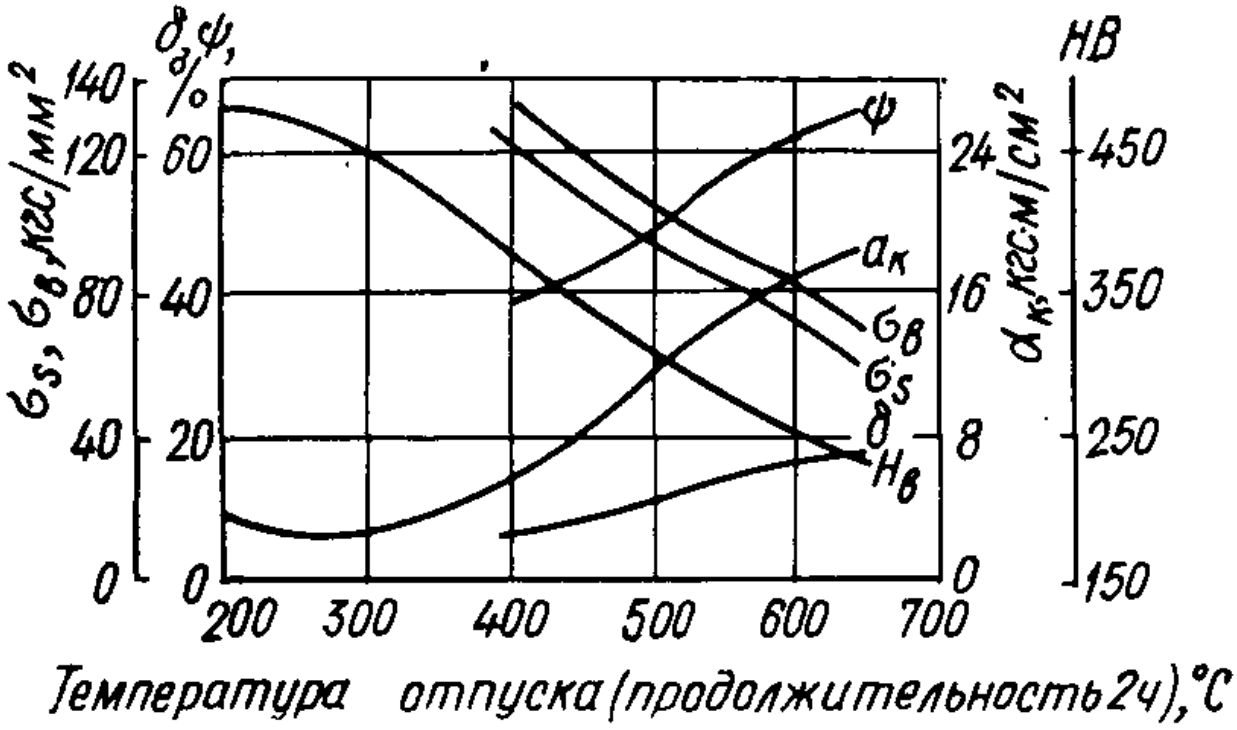


Рис. 10. Диаграмма улучшения стали 45 для образца диаметром 10 мм.

улучшаемых изделий пользуются диаграммами зависимости механических свойств от температуры отпуска, так называемыми диаграммами улучшения (рис. 9).

Стали 40, 45. На рис. 10 представлена диаграмма улучшения стали 45 для образцов диаметром 10 мм.

Исходя из полосы прокаливаемости стали 45 при торцовой закалке (рис. 11) в пересчете на круглое сечение, определяем, что сквозную прокалку на полумартенсит (*HRC* 45) будут иметь детали диаметром или толщиной не больше 20 мм. По всему сечению таких деталей при улучшении образуется сорбит оптимальных свойств. Детали из стали 45 диаметром до 60 мм после резкой закалки в воде и отпуска будут тоже иметь сорбитную структуру, но не равнопрочную, т. е. обладающую неодинаковыми механическими свойствами от поверхности к сердцевине Детали еще большего сечения при самой резкой закалке будут иметь в структуре феррит. Наличие феррита в структуре недопустимо для деталей, работающих на усталость. Это, однако не исключает применения сталей 40 и 45 для изготовления деталей больших диаметров, если требуется повышение прочностных характеристик, а к пластичности особых требований не предъявляют.

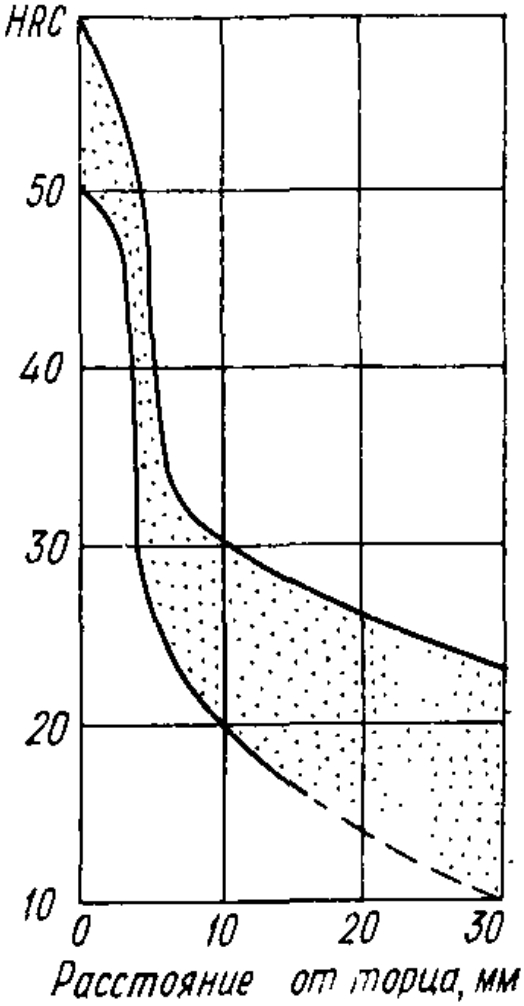


Рис. 11. Полоса прокаливаемости стали 45.

Закалка сталей 40, 45 в масле повышает характеристики прочности и пластичности (в значительно меньшей степени, чем при закалке в воде), но за счет образования перлита мелкого строения, а не сорбита. Поэтому детали из стали 45, испытывающие

усталостные нагрузки, нельзя калить в масле. Исключение составляют детали толщиной 4—6 мм, прокаливающиеся в масле (табл. 67).

В табл. 68 и 69 приведены механические свойства

67. Прокаливаемость стали 45 в зависимости от диаметра образца

Диаметр образца, мм	Охлаждающая среда	Твердость *HRC* стали на расстоянии от поверхности, мм						
		0	6,25	12,5	25	37,5	50	62,5
12,5	Вода	60	52	—	—	—	—	—
	Масло	28	28	—	—	—	—	—
25	Вода	58	40	36	—	—	—	—
	Масло	28	26	26	—	—	—	—
50	Вода	42	35	32	29	—	—	—
	Масло	27	26	25	24	—	—	—
75	Вода	35	32	28	24	23	—	—
	Масло	23	22	21	20	20	—	—
100	Вода	30	27	23	21	21	21	—
	Масло	23	21	20	18	16	16	—
125	Вода	24	23	23	22	22	20	19
	Масло	17	16	16	15	15	14	14

стали 40 после улучшения. Как видио из даиных табл. 68, эффект улучшения резко уменьшается с увеличением диаметра заготовки, а критерием улучшеиия является ие твердость, а предел текучести. Так, временное сопротивлеиие разрыву для сердцевиины прутка диаметром 80 мм

68. Механические свойства стали 40 в зависимости от сечеиия заготовки (закалка с 850° С, отпуск при 500° С)

Механические характеристики	Диаметр заготовки*, мм								В состоянии поставки
	20		40		60		80		
	Поверхность	Центр	Поверхность	Центр	Поверхность	Центр	Поверхность	Центр	
$\sigma_в$, кгс/мм²	93	93	93	91	93	88	93	86	60
$\sigma_т$, кгс/мм²	82	82	76	71	69	64	64	56	32
$\sigma_т / \sigma_в$, %	88,5	88,5	81,5	78	73	73	69	64	53,5
ψ, %	58	58	56	54	53	48	48	43	40
$a_н$, кгс·м/см²	13	13	11	10	7	6	5	4	—
HRC	26	26	26	25	26	24	26	23	15—22

* Испытывали заготовкн длиной 100 мм.

по сравнению с сердцевиной прутка диаметром 20 мм умеиьшается на (93—86) = 7 кгс/мм, а предел текучестн — на (82—56) = 26,0 кгс/мм. Твердость же понизилась всего на 3 единицы по Роквеллу.

Назначая сталь 45 для изготовления той нли иной закаливаемой иа высокую твердость (выше *HRC* 25—30) детали, следует учитывать склонность этой стали к образованию закалочных трещин, особеино при неблагоприят-

69. Механические свойства стали 40 диаметром 200 мм до и после улучшеиия (закалка с 850—870° С в воде, отпуск при 580—620° С)

Параметр	Механические свойства стали 40		Параметр	Механические свойства стали 40	
	в состоянии поставки	после улучшения		в состоянии поставки	после улучшения
$\sigma_в$, кгс/мм²	58	77	φ, %	45	42
$\sigma_т$, кгс/мм²	34	47	$a_н$, кгс·м/см²	6	5
δ, %	19	20	*HB*	187	212

70. Твердость *HRC* закаленной* (неотпущеиной) стали 40Х в зависимости от сечения заготовки

Диаметр заготовок, мм	Расстояиие от поверхности, мм			
	0	10	25	50
20	52	49	—	—
50	48	46	35	—
100	35	33	28	25

* Температура закалки 860° С, охлаждение в масле.

ием сочетании химического состава — углерод и марганец на высшем пределе. Готовые детали из стали 45, закаливаемые в воде, не должны иметь резких переходов, острых углов и других концентраторов напряжений. Если

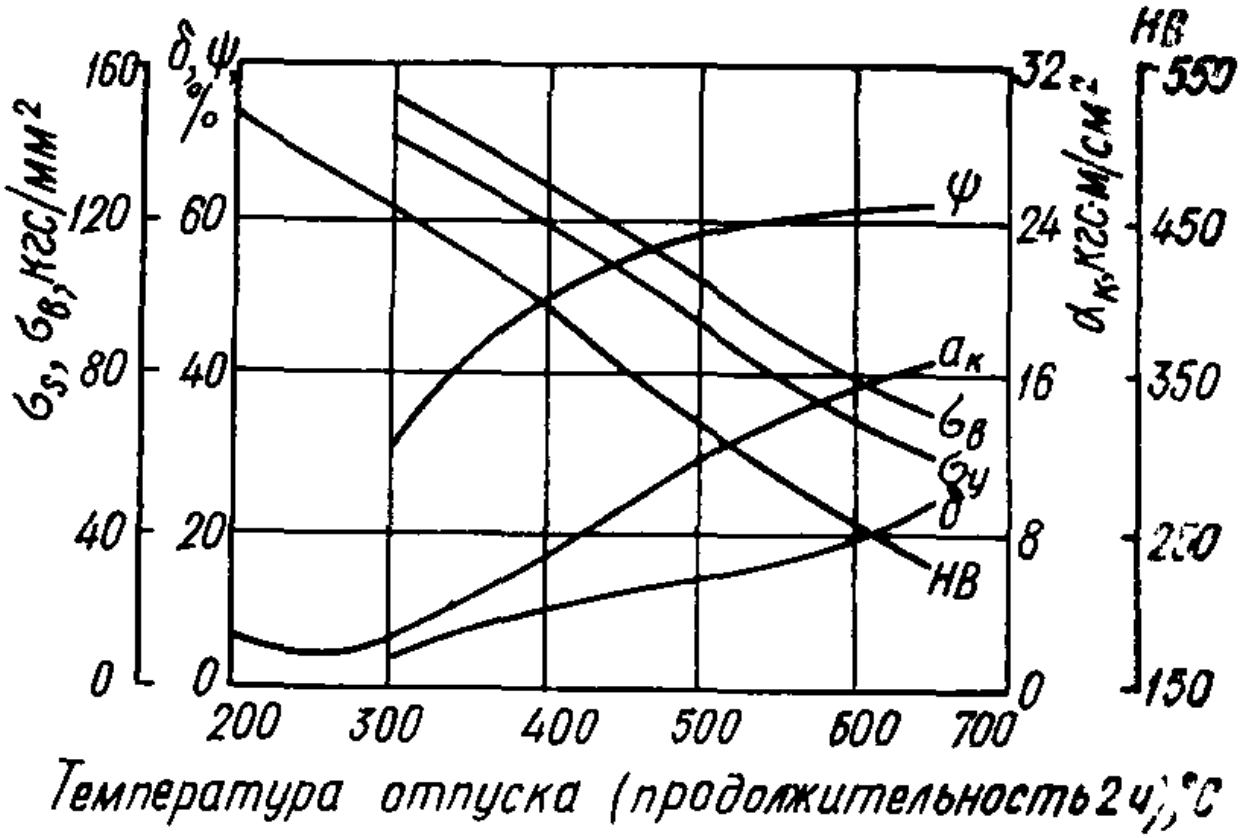


Рис. 12. Диаграмма улучшения стали 40Х.

изменить конструкцию нельзя, надо применять сталь, закаливаемую в масле.

Для механической обработки стали 45 в цеховых условиях следует рекомендовать твердость не выше *HRC* 25. В отдельных случаях (при экспериментах и т. п.) она может быть повышена до *HRC* 30. Требование улучшать углеродистую сталь на *HRC* 28—32 для того, чтобы деталь при сборке «не забивалась», нельзя признать технически обоснованным.

Сталь 45 нашла широкое применение для изготовления деталей, закаливаемых при нагреве ТВЧ. Следует

71. Механические свойства стали 40Х

Механические характеристики	Диаметр			
	20		40	
	Поверхность	Сердцевина	Поверхность	Сердцевина
$\sigma_в$, кгс/мм²	86	86	83	83
$\sigma_т$, кгс/мм²	70	70	67	67
$\sigma_т / \sigma_в$	81,5	81,5	80,6	80,6
ψ, %	63	63	62	62
$a_н$, кгс·м/см²	16	16	13	13
HRC	25	25	23,5	23,5

* Закалка — с 860° С в масле, отпуск при температуре 600° С.

72. Твердость *HRC* образцов различного диаметра из стали 40Х после изотермической закалки в зависимости от температуры расплава селитры

Диаметр образцов, мм	Температура расплава селитры, °С			
	180	200	240	280
20	53	52	51	49
40	52	52	49	43
60	52	52	46	39
80	50	—	—	—

в зависимости от сечения заготовки *

заготовки, мм							В состоянии поставки
60		80		100			
Поверхность	Сердцевина	Поверхность	Сердцевина	Поверхность	Сердцевина		
82	82	82	79	82	79		60
64	64	64	60	62	56		30
78,5	78	78	76	75,5	74		50
62	62	62	61	62	60		25
11	10	11	8	11	7		9
23	23	23	21,5	23	21,5		20

учитывать, что в крупнозернистой стали 45 с содержанием углерода на верхнем пределе при закалке ТВЧ могут образовываться трещины.

Хромистая сталь 40Х. На рис. 12 представлена диаграмма улучшения стали 40Х, на рис. 13 — диаграмма прокаливаемости этой стали. В табл. 70 приведены данные о прокаливаемости стали 40Х в зависимости от диаметра образца.

Сечения стали, в которых при закалке обеспечивается полумартенситная и ферритная прокаливаемость, приведены в табл. 66. В табл. 71 приведены механические свойства улучшенной стали 40Х в зависимости от сечения.

Сталь 40Х закаливают в основном в масле. При улучшении для более глубокой прокаливаемости заготовки можно калить в воде. В этом случае нежелательно, чтобы содержание углерода находилось на верхнем пределе.

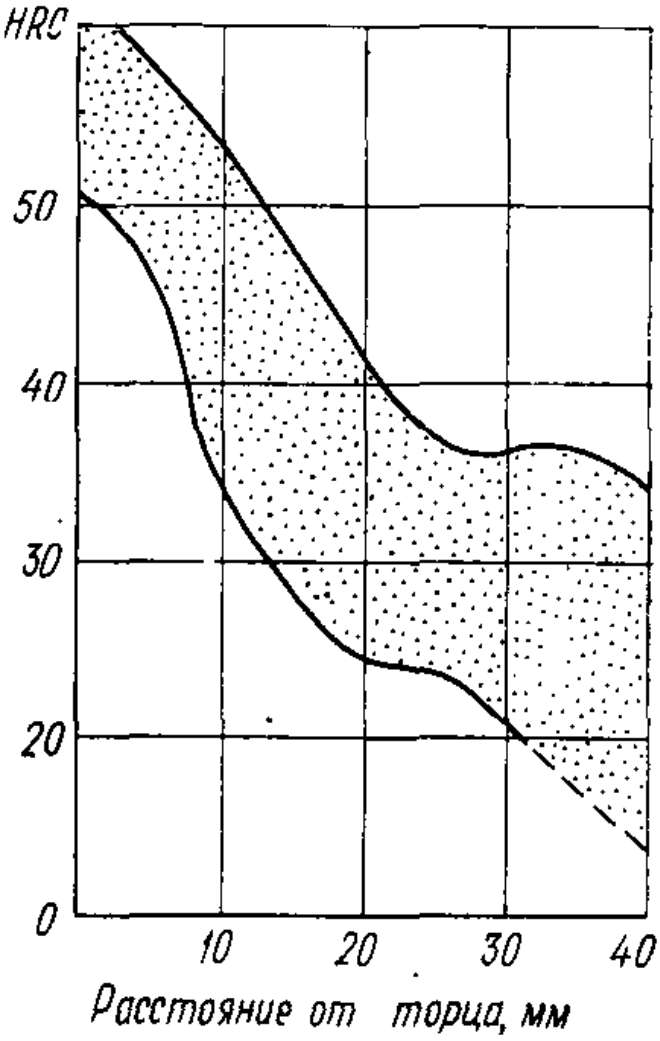


Рис. 13. Полоса прокаливаемости стали 40Х.

Зиачительно расширяет возможности термической обработки стали 40Х метод повышения закаливающей способности изотермической среды, предложенной Бирюковой В. Н. [2].

В табл. 72 приведены данные Рязаиского станкостроительного завода о закалке стали 40Х в расплаве селитры с добавкой воды.

После отпуска во нзбежаиие отпускной хрупкости детали, особенно изделия с крупными сечениями, следует охлаждать в масле.

При закалке ТВЧ иепрерывио - последовательным способом в качестве охлаждающей среды применяют эмульсию или водиый раствоо глицерина. Примеияют также воду для деталей типа валов сеченнем более 30 мм. Отверстия диаметром до 8 мм забнвают пробками.

Сталь 40Х хорошо обрабатывается на станках, если твердость ее не выше *HRC* 30—32.

Усталостная прочность

Усталостная прочность — это способность металла сопротивляться упругим и пластическим деформациям при переменных иагрузках. Она характеризуется наибольшим иапряжением (кгс/мм^2), которое выдерживает металл, не

73. Пределы выносливости некоторых металлов и их временные сопротивления разрыву

Металл	$\sigma_в$, кгс/м²	σ_{-1}, кгс/мм² (изгиб)
Сталь 30 (незакаленная)	48—60	20—27
Сталь 45 (незакалеиная)	60—75	25—34
Сталь 30ХГСА (закалеиная)	170	70
Сплав АМц (термообработанный)	10—19	4,9—7

разрушаясь. Это напряжение называется пределом усталости или пределом выносливости. Предел выносливости равен примерно 0,4—0,5 временного сопротивлеиия разрыву (табл. 73).

Образованию трещии способствуют дефекты как на поверхности, гак и внутри детали. К ним можно отиести металлургическне дефекты — шлаковые включения острокоиечной формы и т. п.; конструктивные погрешности — остэые или малозакругленные углы (рис. 14), резкие переходы сечений; недостатки технологического порядка — следы грубой обработки, царапины, риски, острые забоины и т. п. Указанные дефекты являются

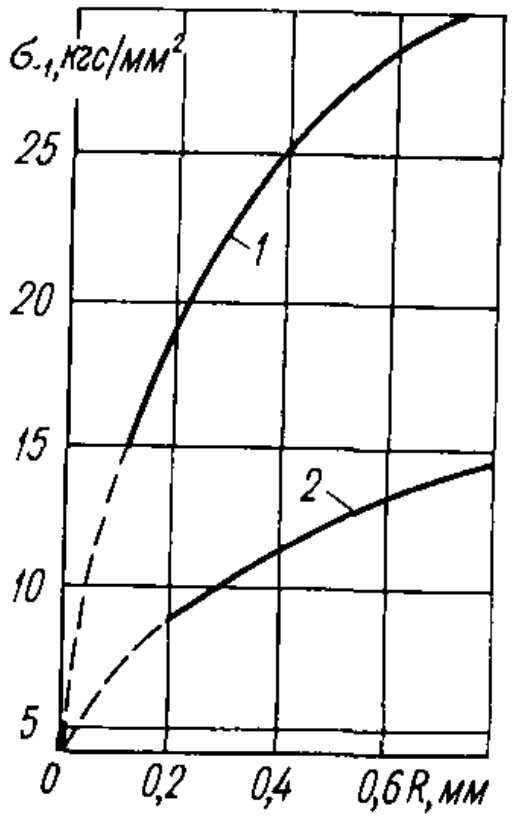


Рис. 14. График зависимости предела выносливости образца от радиуса закругления: *1* — сталь 30ХГСА; *2* — Ст3.

концентраторамн иапряжений, дающими начало трещиие. Особенно опасно, когда они иаходятся в углах.

Рассмотрим возможный вариант образования усталостной трещины. Если на шейке вала имеется риска небольшой глубины, расположенная к тому же поперек вала (рис. 15, *а*), то в процессе работы при повторя-

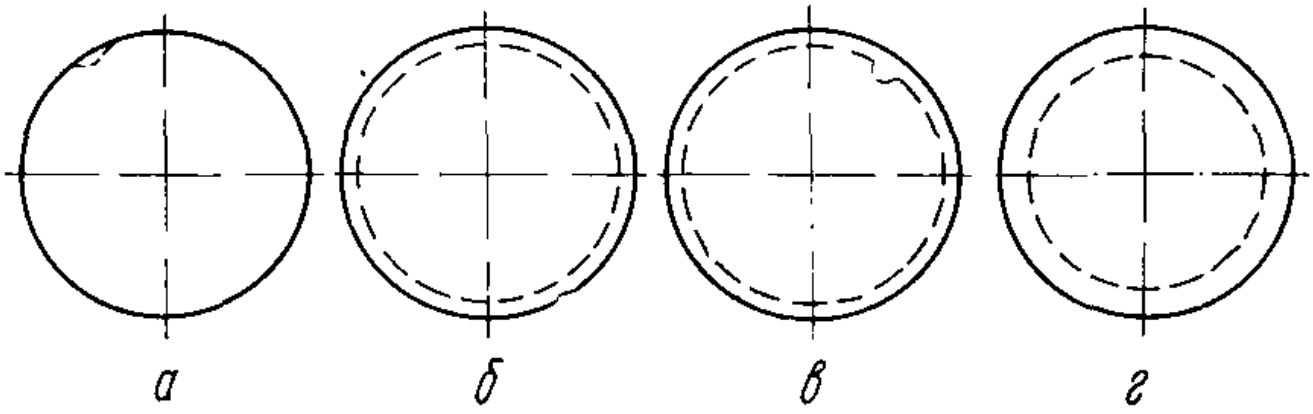


Рис. 15. Схема образования усталостной трещины: *а*—риска на поверхности; *б*—кольцевая трещина небольшой глубиины; *в* — углублеиие трещнны; *г* — кольцевая трещина большой глубины.

ющихся нагрузках растяжения она иачнет распространяться по окружности, пока не станет кольцевой (рис. 15, *б*). Затем в наиболее слабом месте трещина углубится (рис. 15, *в*) и в процессе работы опять станет кольцевой, но уже большей глубины (рис. 15, *г*). Так будет продолжаться до тех пор, пока «живое» сеченне вала не уменьшится до диаметра, прн котором наступит разрушение. На рис. 16 приведен нанболее характерный вид усталостного разрушения. В зоне усталостного разрушения не видно зернистости, она гладкая, так как при работе стенки трещин терлись друг о друга; зона разрушения, иаступившего в результате недостаточиой прочности оставшегося «живого» сечения вала, имеет обычный зернистый излом.

Однако не только указанные выше причины могут привести к возникновению усталостных трещин. Последние возникают также вследствие неоднородности металла.

В стали могут быть отдельные зерна с пониженными механнческнми свойствами по сравнению с темн, которые имеет металл в целом. В этих отдельных зернах во время работы появляются сдвиги, и в дальнейшем из них возникают трещины. Трещины возникают также нз-за неправильного выбора марки стали или из-за нарушення режима термической обработки изделия.

Например, деталь работает прн зиакопеременной нагрузке и рассчитана на иагрузку, которой может противостоять структура улучшеиной стали—сорбит. В результате иерезкого охлаждеиия и закалке в зоне иаибольшего восприятия нагрузок наряду с сорбитом образуется феррит в виде отдельных зерен или участков. Феррнт иаблюдается также в деталях, для изготовлеиия которых использованы стали с малой прокаливаемостью. В ферритных участках, имеющих поннжениую по сравнению с сорбитом прочность, появятся сдвиги, которые могут быть иачалом усталостной трещины. В структуре миогих поломавшихся термнчески обработаиных деталей автомобилей обнаруживают феррит [1].

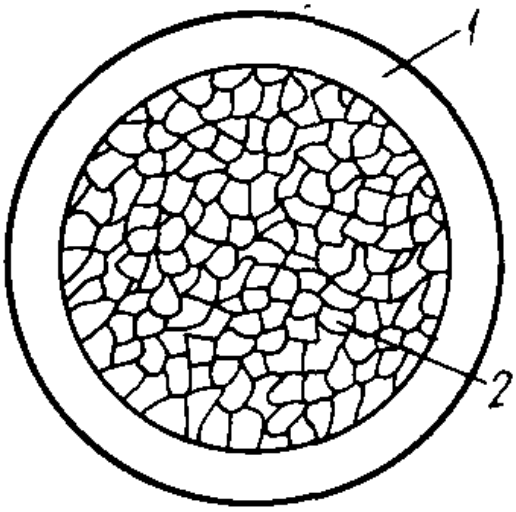


Рис. 16. Схема усталостного излома: *1* — зона усталостного разрушения, *2* — зона окончательного нзлома.

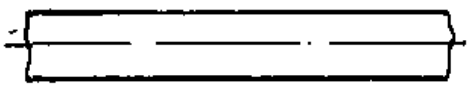
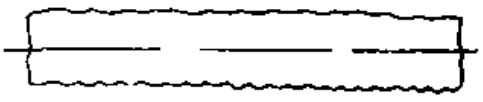
Детали, работающие в коррозионных средах, значительно сильнее подвержены усталостному разрушению. Трещина в этих условиях скорее образуется и быстрее углубляется при меньших нагрузках, чем в обычных условнях.

В противовес опасным напряжениям растяжения, напряжения сжатия уменьшают опасность возникновения трещии. Любой процесс, вызывающий на поверхности металла сжимающие напряжения, оказывает положительное влияние на детали, подверженные усталостному разрушению. Поэтому цементацня, азотнрование и другие про-

цессы химико-термической обработки, образование наклепанного слоя путем обкатки роликами, обдувки дробью и т. д. приводят к повышению усталостной прочности (табл. 74).

В табл. 75 представлена зависимость усталостной прочности болта от технологии его изготовления [11]. Как видно из таблицы, обкатка галтели и накатка резьбы резко повышают усталостную прочность.

74. Повышение предела выносливости образцов после азотирования

Эскиз образца	Предел выносливости		Повышение предела выиосливости, %
	Неазотированный образец	Азотированный образец	
	56,7	72,5	28
	23	48,8	113
	26	59,8	130
	30	56	87
	44,1	72,5	75

75. Влияние технологии изготовления болтов на их усталостиую прочиость

Способ изготовления	Среднее число циклов нагружения до разрушения	Место разрушения
Головка болта		
Горячая штамповка и обкатка галтели	100312	По резьбе
Механическая обработка из прутка	24657	По головке
Холодная высадка и механическая обработка	20257	" "
Горячая штамповка	17026	" "
Резьбовая часть		
Накатка после термической обработки	100312	По резьбе
Механическая обработка после термической обработки	19985	" "
Механическая обработка до термической обработки	13304	" "
Накатка до гермнческой обработки	13043	" "
Шлифовка до термической обработки	10588	" "

При дробеструйном наклепе также повышается усталостная прочность изделий, так как кроме того, что при этом процессе на поверхности создаются сжимающие напряжения, дробь заоваливает острые риски, подрезы и другие дефекты, в результате чего снижается их влияние как концентраторов напряжеиий.

76. Влияние дробеструйного иаклепа иа предел выносливости пружин

Марка стали	Диаметр проволоки, мм	Предел выиосливости, кгс/мм²		Повышение предела выносливости, %
		до обработки дробью	после обработки дробью	
Р	4,5	44,4	58,0	30,7
65Г	3,75	45,8	72,4	58,0
50ХФА	4,5	48,0	73,8	54,0
60С2	19,8	43,2	64,5	49,5

Дробеструйному наклепу подвергают рессоры, пружины н другие детали, для которых требуется высокая усталостная прочность (табл. 76).

На усталостную прочность большое влияние оказывает чистота обработки изделия. Пиевматический инструмент (обжнмки, зубила н др.) зачастую разрушается по галтели в таких местах, которые ие только не калятся, но и ие нагреваются. После резкого повышеиия чистоты обработки опасного перехода брак значительно уменьшается.

Износостойкость

Износостойкость деталей машии в результате иаклепа поверхности и различиых видов термической и хнмико-термической обработки (табл. 77) повышается за

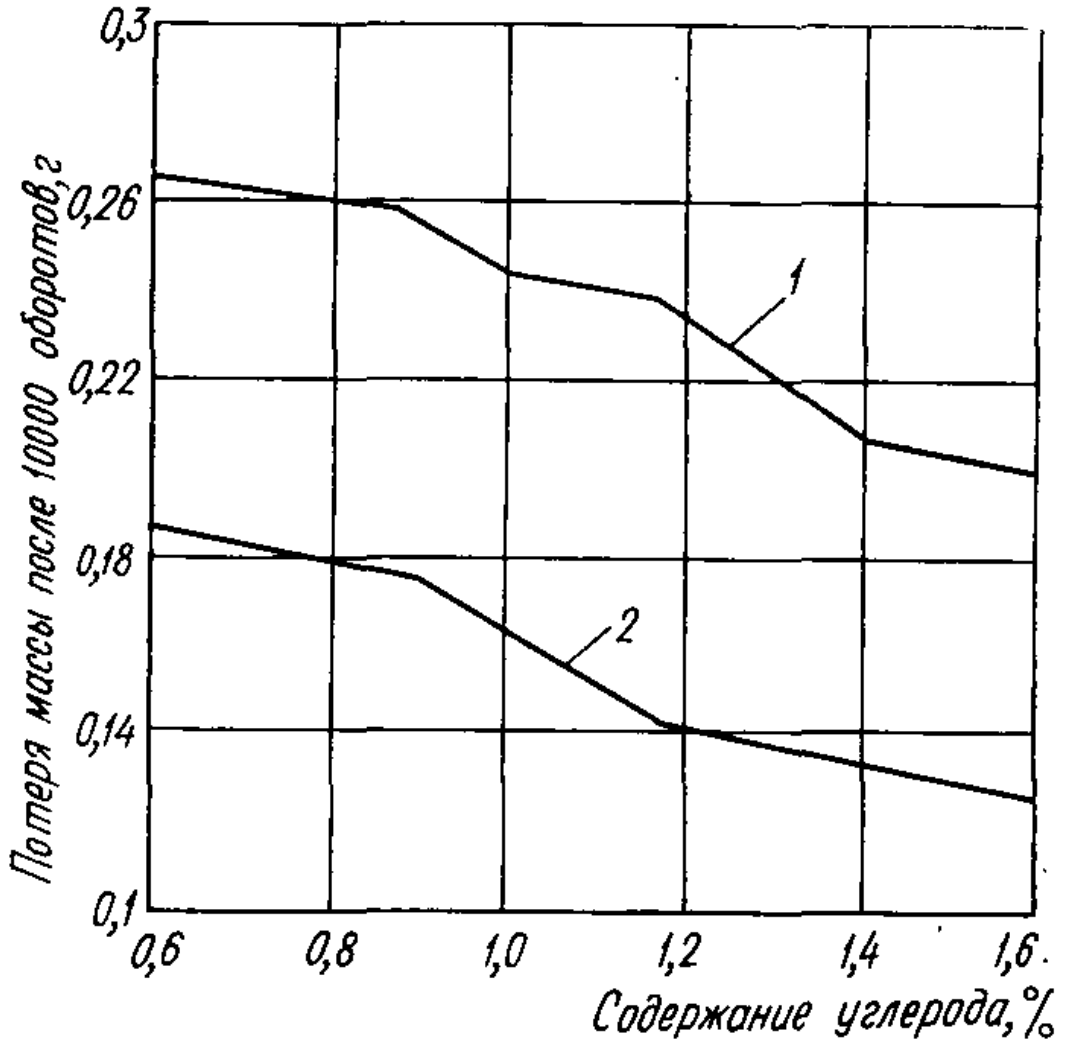


Рис. 17. Износостойкость цементированных образцов из стали 18ХГТ при трении в зависимости от содержаиия углерода: *1* — верхнего; *2* — иижиего образца.

счет появлення напряжений сжатия деталей. Такие иапряженпя возникают в поверхностиых слоях нзделий, подвергнутых хнмико-термнческой обработке, вследствие по-

77. Повышение износостойкости деталей машин после наклепа и термической обработки

Процесс упрочнения	Обрабатываемый материал	Класс шероховатости поверхности (по ГОСТ 2789—73)	Твердость обработанной поверхности	Остаточные напряжения сжатия в поверхностном слое, кгс/мм²	Толщина упрочненного слоя, мм
Наклеп рабочих поверхностей деталей					
Дробеструйная обработка	Чугун, сталь и сплавы цветных металлов	2—7	Увеличивается на 20—40%	80	0,4—1,5
Центробежно-шариковый наклеп	То же	Повышается на 1—2 класса	Увеличивается на 15—60%	80	0,3—1,5
Обкатывание ролнками	„ „	7—11	Увеличивается на 20—50%	100	1,0—3,5
Обкатывание пружинящими шариками	„ „	9—11	То же	100	0,3—5,0
Чеканка	„ „	2—4	„ „	100	0,5—3,5

Точение	То же	3—5	Увеличивается на 20—30%	70	0,05—0,5
Гидрополирование	„ „	8—11	То же	70	0,01—0,2
Химико-термическая обработка					
Цементация	Сталь (0,35%С)	Снижается на 1—2 класса	*HRC* 60—65	100	0,5—2,0
Азотирование	Сталь. чугун	Не изменяется	*HV* 650—1200	100	0,05—0,6
Цианирование	Сталь	То же	*HRC* 60—67	100	0,05—2,0
Хромирование	Сталь, чугун	„ „	Микротвердость 1600—2000	100	0,02—0,3
Поверхностная закалка					
Нагрев газовым пламенем	Сталь, чугун	Снижается на 1 класс	*HRC* 40—66	80	0,5—10,0
Нагрев ТВЧ	Сталь	Не изменяется	*HRC* 40—66	Незначительные	0,2—10,0

Примечание. Увеличение твердостн при наклепе приведено для материала в отожженном состояиии. Наклеп термически обработанных деталей дает увеличение твердостн примерно на 4—5 единиц по Роквеллу.

явления карбидов и иитридов, имеющих больший удельиый объем, чем осиовной металл.

Изиосостойкость цемеитироваиных образцов зависит от содержания углерода в поверхностном слое (табл. 78).

78. Износ цианированных и цементированных образцов при трении

Марка стали	Циаиированные образцы			Цементированные образцы	
	Содержание в поверхиостном слое, %		Потеря массы образца, г/ч	Содержаиие углерода в поверхиостном слое, %	Потеря массы образца, г/ч
	углерода	азота			
18ХГТ	0,89 1,15 1,27	0,273 0,355 0,426	0,018 0,017 0,015	0,89 1,15 1,4	0,026 0,025 0,021
20	0,81 0,98	0,315 0,586	0,024 —	0,8 1,0	0,03 0,029
30ХТГ	0,92 1,24 1,34	0,257 0,323 0,414	0,018 0,016 0,016	1,0 1,16 1,37	0,025 0,024 0,022

При одинаковой твердости *HRC* 58—60 с увеличением содержания углерода износ стали уменьшается (рис. 17). Износостойкость циаиированных образцов выше цементированных. С увеличением глубины циаиированного слоя износостойкость изделия повышается (табл. 79).

Хорошим средством повышения износостойкости является азотироваиие. Азотироваииые детали не калят. Это большое преимущество азотирования перед другими процессами химико-термической обработки, так как исключаются деформация и короблеиие, связанные с закалкой.

79. Изиос циаиированной поверхиости в зависимости от глубиины слоя

Марка стали	Глубиина циаиированного слоя, мм	Твердость *HRC*	Потеря массы образца после 10 000 оборотов, г/ч
18ХГТ	0,28	60	0,0184
	0,39	60	0,0170
	0,64	57	0,0152
45	0,26	61	0,0208
	0,37	59	0,0198
	0,75	57	0,0198

Кроме того, пленка азотированного слоя обладает антикоррозионными свойствами.

Для повышеиия износостойкости детали, работающие в тяжелых условиях абразивиого износа, подвергают борированию (насыщение поверхности изделия бором). Износостойкость борированных деталей выше цементнрованиых в 2—4 раза. Твердость борированиой поверхности равиа примерно *HRC* 72—75.

Определение категорий чугунных отливок, которые необходимо подвергать старению

Причиины возникновеиия короблеиия. Чугунные отливки при длительиом вылеживании коробятся — теряют прямолинейиость (табл. 80). Основной причиной короблеиия является иаличие остаточных виутренних иапряжений,

80. Влияние жесткости чугуниых деталей на их короблеиие при вылеживаиии после механической обработки [4]

Наименование деталей станков	Габаритные размеры, мм	Масса, кг	Степень жесткости	Характер короблеиия
Станины	2070×1780×885	1600	Зиачительиая	Первые месяцы 10 мкм/м, через 6 мес прекратилось
Салазки	2100×1398×355	630	Малая	Первые месяцы 20–25 мкм/м, полностью не прекратилось через 8 мес

возникающих при охлаждеиии отливки в форме. В процессе длительного вылеживания эти напряжения уменьшаются, что сопровождается пластической деформацией, вызывающей короблеиие деталей.

Остаточные виутреиие напряжеиия обусловлены:

1) большим различием в толщине стенок детали, запроектироваиией конструктором;

2) большим перепадом температур остывающих участков детали с разиой толщиной стенок;

3) пластинчатой формой графита, создающей острые углы в металлической осиове чугуна. При перегрузках детали в этих местах возникают значительные напряжеиия, вызывающие деформацию детали. В чугуие с шаровидиой формой графита иапряжеиия значительио меньше;

4) малая жесткость детали, способствующая деформации.

Стабилизация остаточных иапряжений в чугунных отливках. Несмотря на то, что причиной коробления отливок являются остаточные иапряжения, для прекращеиия короблеиия не требуется их полиое сиятие [4]. Размеры отливки стабилизируются даже при зиачительных остаточных напряжениях. Однако под действием значительных виешиих иагрузок уже стабилизовавшиеся остаточиые иапряжения перераспределяются. Это может привести к короблеиию отливки.

К таким нагрузкам отиосится механическая обработка отливок. Отсюда следует, что стабилизацию (искусственное, естествеиное или вибрациоиное стареиие) иеобходимо производить после черновой механической обработки. Стабилизация позволяет оставлять наименьший припуск на окоичательиую обработку.

Рекомеидуется следующая технология изготовления литых деталей [4]: механнческая обработка отливок; вылеживание на открытом воздухе в течеиие 6—12 мес; окоичательиая обработка и сборка.

Для изготовлеиия маложестких деталей и деталей особо высокой точности из отливок предлагается другая технология обработкн: механическая обработка отливок; вылеживание иа открытом воздухе 9—12 мес; получнстовая механическая обработка, припуск на окончательную обработку менее 1 мм; вылеживаиие в теченне 3—6 мес; окончательиая обработка и сборка.

Процесс естественнаго старения отливок происходнт на открытом воздухе, где они подвергаются воздействию температуриых измеиеиий окружающей среды. Основное короблеиие отливок происходит в течение первых трех месяцев.

При искусствеиием старении отливки загружают в печь при любой температуре, но не выше 500—600° С, нагревают их до 500—600° С и выдерживают при этой тем-

пературе 2—3 ч. После этого охлаждают со скоростью не выше 30 град/ч (отливки иормальной точиости) или не выше 20 град/ч (отливки высокой точности) до 350° С, а затем с печью до 100—150° С и выгружают иа воздух.

В печь для стареиия детали укладывают так, чтобы каждая деталь испытывала наименьшие иапряжения от собственного веса и от веса других деталей, а также чтобы оиа со всех сторон омывалась печными газами. Перепад температур в разных точках печи для стареиия не должеи превышать 25° С. Термопары следует располагать в иепосредствеииой близости к деталям для более точного обеспечеиия температурного режима процесса.

Естествеиное стареиие — длительная операция, а искусственное требует специальиого оборудования, поэтому подвергать старению необходимо чугуиные детали только высокой и особо высокой точиости. К ним относятся корпусные и базовые детали стаиков, приборов и подобные деталн, короблеиие которых может вызвать нарушение нормальной работы машин.

Влияние химического состава свариваемых сталей на возникновение сварочных напряжений

В процессе сварки в конструкциях неизбежно появляются остаточные напряжеиия. Эти напряжеиия могут привести к деформации сварных коиструкций в период эксплуатации. Вследствие этого конструкторы, желая предотвратить возможный брак, зачастую виосят в техиические условия иа свариые узлы требование об их отжиге.

Появлеиие больших напряжений в сварных коиструкциях связаио не только с тепловыми процессами, но и с технологией изготовлеиия сварных узлов [7]. Одной из причин разрушения некоторых свариых коиструкций считают недостаточную точиость заготовок, так как неточные заготовки затрудияют качествеииую сборку и вызывают

иеравномерность зазоров по длиие стыковок шва, что, в свою очередь, приводит к увеличению сварочиых деформаций.

При тщательиом выполнеиии сварки как в части изготовления заготовок, так и в выборе последовательиости и технологии сварки можно умеиьшить напряжения, но часть из них при любых обстоятельствах остаиется. Необходимо выясиить, в каких случаях эти иапряжеиия ухудшают работу коиструкций и их необходимо снять, а в каких они не влияют на работу.

Основные случаи, когда рекомеидуется снятие сварочных иапряжеиий:

1. При высоких температурах сварки коиструкций из легированиых и среднеуглеродистых сталей в зоне шва образуется аустеиит, который при остывании превращается в мартенсит или в другие структуры закаленной стали. Появившиеся в результате этого напряжеиия подлежат снятию, т. к. они могут вызвать трещины и короблеиие. Если из указаниых сталей свариваются коиструкции зиачительиых размеров, которые невозможио отжечь, следует принимать меры к замедлеиию охлаждеиия зоиы шва после сварки.

2. При механической обработке околошовиой зоиы перераспределяются остаточные напряжения, которые в дальиейшем приводят к нарушению точности конструкции. Поэтому сварные коиструкции из любых сталей перед механической обработкой необходимо отжигать.

3. В свариых конструкциях из всех марок стали, работающих при низких температурах.

Не следует отжигать коиструкции из малоуглеродистых и аустеиитных (нержавеющих) сталей, в которых ие образуется мартенсит, не возникают опасиые структурные иапряжения; конструкции, сваренные из двух или более сталей, в которых вследствие различия коэффициеитов линейного расширения сваренных металлов при остываиии после отпуска возникают новые иапряжения.

Из существующих способов снятия остаточиых сварочиых напряжеиий лучшим является высокий отпуск при 600—650° С с последующим медленным охлаждением с печью. Выдержка при 600° С должиа быть иаименьшей во избежание поиижения прочностных свойств. Важиую роль

играет равномериость температуры сварной конструкцин как при нагреве, так и при остываиии. Отпуск в печи, в которой нельзя обеспечить равномериую температуру, может привести к увеличеиию иапряжений в сварной конструкции.

Править свариые термически обработанные конструкции не следует. При правке в иих возникают новые иапряжеиия, поэтому, несмотря на проведенную термическую обработку, правленные свариые конструкции могут деформироваться в период эксплуатации.

Рекомендации по выбору марки стали и технологии обработки валов, шестерен, пружин

Валы. Выбор марок сталей и назначеиие технических условий для валов производится в зависимости от условий их работы.

Валы, работающие в легких условиях, изготовляются из средиеуглеродистых нелегированных сталей и термической обработке ие подвергаются.

При требовании высокой износостойкости и усталостной прочности валы следует изготовлять из малоуглеродистых сталей преимущественио типа 20Х, 18ХГТ с последующей цементацией или иитроцементацией на глубину до 1,5 мм, закалкой и отпуском на твердость *HRC* не иижe 58. Механические свойства сердцевииы зависят от химического состава стали.

Для изготовлеиия валов с высокой прочностью и износостойкостью применяют стали 45, 40Х, 40ХФ и др. Перед механической обработкой заготовки улучшают на $\sigma_в$ = 80 ... 100 кгс/мм² с учетом обработочной твердости. Готовые валы калят ТВЧ иа глубииу до 2 мм.

Валы, к которым предъявляются требования повышеиной прочности, изготовляют из тех же среднеуглеродистых сталей и подвергают улучшеиию (заготовки) иа $\sigma_в$ = 80 ...100 кгс/мм² с учетом твердости, оптимальной для механической обработки.

При изготовлении валов, работающих в агрессивиой среде в условиях сильиого износа, применяют стали типа 38Х2МЮА, 40Х, 30ХГТ, 40ХГР, предварительно улучшив заготовку. Готовые валы азотируют иа глубину до 0,6 мм.

Чтобы в валах не возиикали усталостные трещины, иеобходимо их изготавливать с определенными радиусами закруглений (табл. 81). При механической обработке валов следует также избегать появления рисок, царапин, острых забоин, прижогов и других дефектов, снижающих их

81. Рекомеидуемые радиусы закруглений валов с галтелями, работающих при знакоперемениых нагрузках

Диаметр вала (меньший), мм	Пределы радиуса закругления, мм	Диаметр вала (меньший), мм	Пределы радиуса закругления, мм
10	0,4—0,9	60	2,4—5,4
20	0,8—1,8	70	2,8—6,3
30	1,2—2,7	80	3,2—7,2
40	1,6—3,6	90	3,6—8,1
50	2,0—4,5	100	4—9

Примечание. Нижние пределы радиусов закруглений применяют только для легированных сталей.

усталостную прочность. Особенно опасно, если эти дефекты находятся в углах, иа галтелях или расположены перпеидикулярно к действию основных иапряжений.

Для уменьшения коробления при термической обработке валы рекомендуется между черновой и чистовой токарной обработкой подвергать высокому отпуску при 550—650° С. С этой же целью валы всем термическим операциям подвергаются в подвешенном состоянии.

После правки калеиые валы необходимо дополиительно отпускать при температуре не выше температуры первоначального отпуска.

Шестерни. Выбор марок стали и особенностей обработки шестерен производится в зависимости от контакт-

ного напряжения в поверхностном слое $\sigma_к$ и напряжения изгиба в опасном сечении $\sigma_и$.

Для тяжело нагруженных шестерен при требованиях $\sigma_к \geqslant 150$ кгс/мм² и $\sigma_{из} > 30$ кгс/мм² применяются цементируемые стали 12ХН3А, 20Х2Н4А, 18Х2Н4ВА с твердостью, превышающей *HRC* 56. Выбираемая глубина упрочнения завнсит от модуля шестерни (табл. 82). Чем больше модуль шестерни, тем больше углерода и тем бо́льшую

82. Толщиина упрочняемого слоя, мм, в завнсимости от модуля и метода упрочнеиия зубчатых колес

Метод упрочнения	Модуль				
	1,5—3,25	3,5—5,0	5,5—7,0	8,0—11,0	12,0—20,0
Цементация	0,4—0,6	0,7—1,2	1,1—1,4	1,4—1,8	1,8—2,2
Азотироваиие	0,2—0,4	0,3—0,5	0,4—0,6	—	—
Контурная закалка, ТВЧ	1,0	1,0—1,5	1,5—3,5	1,5—3,5	2,5—5,0

прокаливаемость должна нметь выбранная марка цементируемой стали.

Следует указать, что в стали 12ХН3А при содержании углерода на нижием пределе возможно некоторое снижение твердости сердцевины. Твердость сердцевины рекомендуется поддерживать в пределах *HRC* 30—45. При более высокой твердости зубья обладают повышенной хрупкостью. Твердость ниже *HRC* 30, как правило, связана с низкой прокалнваемостью, она может быть причиной разрушения шестерни из-за недостаточной усталостиой прочности, а также вследствие явления питтинга. Твердость сердцевнны зуба регулируется путем выбора стали с определенным содержаннем углерода. В настоящее время с целью получения зубьев с прочной сердце-

виной применяют стали с повышенным содержанием углерода, напрнмер, 25ХГМ, 30ХГТ взамен 18ХГТ.

Шестерни средней нагруженности с $\sigma_к$ = = 60 ... 150 кгс/мм² и $\sigma_{из}$ = 11 ... 30 кгс/мм² при $m \leqslant 6$ изготовляют нз цементнруемых сталей типа 20Х, 18ХГТ, а при $m > 6$ — из сталей 12ХН3А, 30ХГТ, 40ХГР. Поверхность цементированных шестерен закаливают на твердость $HRC \leqslant \geqslant 56$, сердцевина прн этом имеет твердость *HRC* 27—45. Для этой группы шестерен нашли применение также стали 45 и 40Х. При $m \leqslant 4$ шестернн закаливают ТВЧ со сквозной закалкой зубьев на твердость *HRC* 35—45, а при $m > 4$ — подвергают контурной закалке зубьев на твердость *HRC* 45—55. Твердость сердцевины зуба в последнем случае зависит от предварительного улучшения н лежнт в пределах *HRC* 22—27.

Шестерни средней нагруженностн, изготовленные нз стали 40Х и улучшенные в заготовках, можно подвергать азотнрованию на глубину 0,3—0,5 мм, в результате чего поверхностный слой прнобретает твердость *HRC* 50—56.

Шестерни малой нагруженностн при $\sigma_к < 60$ кгс/мм² и $\sigma_{нз} < 11$ кгс/мм² изготовляют нз сталей типа 45, 50, 40Х после улучшення заготовок на твердость *HB* 228—255 (стали 45 н 50) и *HB* 255—300 (сталь 40Х).

Наибольшей прочностью обладают шестернн, изготовлениые нз штамповок. Необходимо тщательно следнть за выполнением операцин штамповкн. Заготовкн должны быть одинаковыми, полностью заполнять формующую полость штампа, иметь прямой угол между сопряженными поверхностями. Соблюденне этих условий уменьшает деформацию при дальнейшей обработке.

Нарушення технологии механнческой обработкн (тупой режущий инструмент, недостаточное охлаждение и т. п.) вызывают наклеп и способствуют появленню деформацин при термнческой обработке. Сильнее всего шестерин деформируются при цементации. Если технологней не предусмотрена закалка с цементационного нагрева, то следует после цементации проверить шестерни на раднальное биенне и при наличии устраннть его механнческой обработкой (шевингованием н т. п.), а потом калить.

Конические шестерни с целью уменьшения деформации рационально калить в закалочных прессах или штампах.

При закалке ТВЧ, чтобы зубья были прочными, шестерню необходимо прогревать на 1—3 мм ниже впадины. Для обеспечения такого нагрева шестерни с модулем до 3 прогревают на ламповом генераторе, с модулем свыше 3 — на машинном.

Пружины. Выбор марок сталей для пружин производится в зависимости от класса пружин и требуемой степени выносливости, которые определяются по максимальным касательным напряжениям при кручении (по ГОСТ 13764—68 — ГОСТ 13776—68).

Наиболее часто применяемые марки сталей для термообрабатываемых пружин, работающих в обычной среде,— 60С2А, 65С2ВА, 70С3А, 65Г, 50ХФА, а также термически обработанная проволока по ГОСТ 9389—60, ГОСТ 1071—67 и лента по ГОСТ 2614—55. Для пружин, работающих в агрессивных средах, применяются стали 30Х13, 40Х13, 1Х18Н9Т.

Материал для пружин не должен иметь волосовин, следов волочения, закатов. Вмятины с плавными переходами допускаются. Обезуглероженный слой проволоки диаметром до 6 мм не должен превышать 0,08 мм, а для проволоки диаметром свыше 6 мм—допускается до 0,12 мм на сторону.

Твердость пружин обычно находится в пределах *HRC* 40—50, а для пружин сжатия — доходит до *HRC* 57.

При термической обработке пружин для предотвращения окисления и обезуглероживания выдержку в печи следует давать наименьшую, при нагреве в пламенных печах необходимо создавать коптящее пламя, мелкие пружины класть на предварительно нагретый противень.

Режимы изотермического охлаждения пружин приведены в табл. 83.

Цилиндрические пружины греют под закалку и опускают в закалочный бак в строго горизонтальном положении. Перед отпуском пружины очищают от масла. Отпускают на оправках, обеспечивающих прямолинейность пружины.

Значительное повышение усталостной прочности пру-

жин достигается обработкой их дробью (дробеструйный наклеп).

После травлення или ианесения антикоррозионного покрытия возможно появление водородной (травильной) хрупкостн пружнн, которая устраняется отпуском при 240—280° С в течение 2—4 ч. Еслн после указанного отпуска пружины остаются хрупкнмн, их следует отжечь и вновь термически обработать, приннмая все меры против окнслення и обезуглероживания.

Пружины, изготовленные из термообработанной проволоки, для снятия напряжений, образовавшихся при навивке, подвергаются отпуску при 250—350° С.

83. Режимы изотермического охлаждеиия пружин

Марка стали	Изотермическое охлаждеиие		Твердость *HRC*
	Температура ванны, °С	Время выдержки, 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

Изготовленне пластинчатых пружин нз термообработанной ленты лучше всего производить методом термофиксации. Просеченную по профилю пружины ленту зажимают в приспособлении, имеющем форму готовой пружины, и прогревают в таком состоянии в течение 20—30 мин прн 350—400° С. После этого ее охлаждают с приспособленнем на воздухе. Если пружнна после разгрузки не имеет требуемого по чертежу профиля, нужно опытным путем подобрать форму приспособления. Приспособления выполняют многоместнымн.

Рекомендации по выбору материалов для изготовления деталей, работающих в условиях Крайнего Севера

Стальные детали, нормально работающие при комнатной температуре, с понижением температуры теряют вязкость н становятся хрупкнмн — хладноломкимн. Цветные металлы не реагируют на сниженне температуры, что нллюстрируется рис. 18.

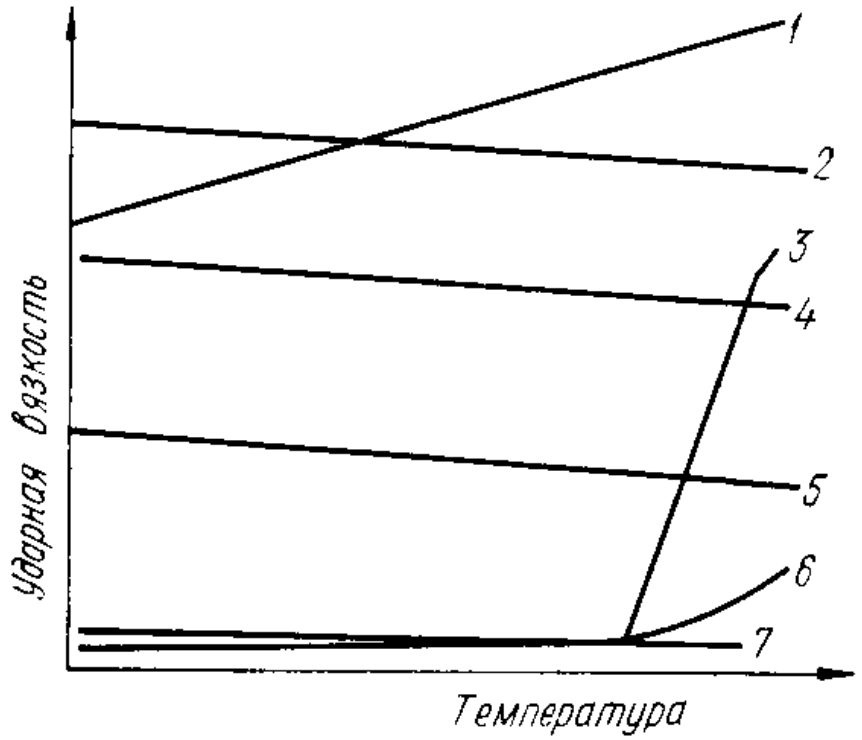


Рис. 18. Измеиенне ударной вязкости для разных металлов и сплавов прн иизких температурах: *1* — иержавеющая сталь, содержащая 18% Cr и 8% Ni; *2* — никель; *3* — железо, *4* — медь; *5* — алюминий; *6* — магнний; *7* — свинец.

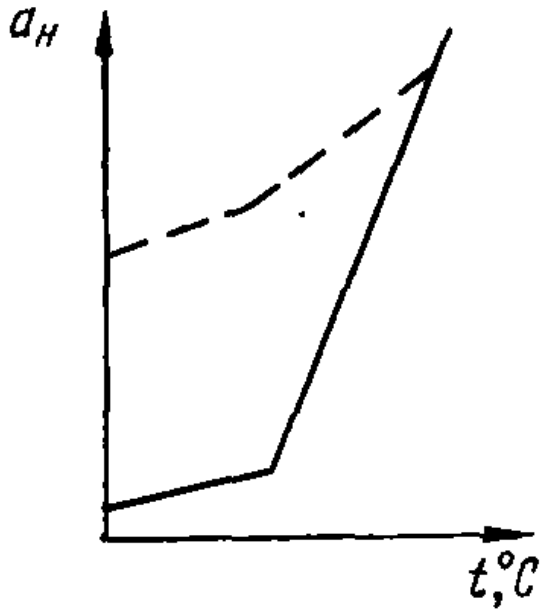


Рис. 19. Ударная вязкость малоуглеродистой стали (С=0,09%) без никеля (сплошная) и содержащей 2% никеля (пунктирная линия) при снижении температуры.

Причиной хладноломкости могут явиться неправильно выбранные марка стали, процесс термической обработки, не обеспечивающий наиболее благоприятную структуру, наличие резких переходов сечений, состояние поверхности (наличие надрезов, рисок и других концентраторов напряжений), неметаллические включения и величина зерна стали как наследственного, так и действительного.

Хладностойкость сталей значительно увеличивается при введении никеля и заметно уменьшается при введе-

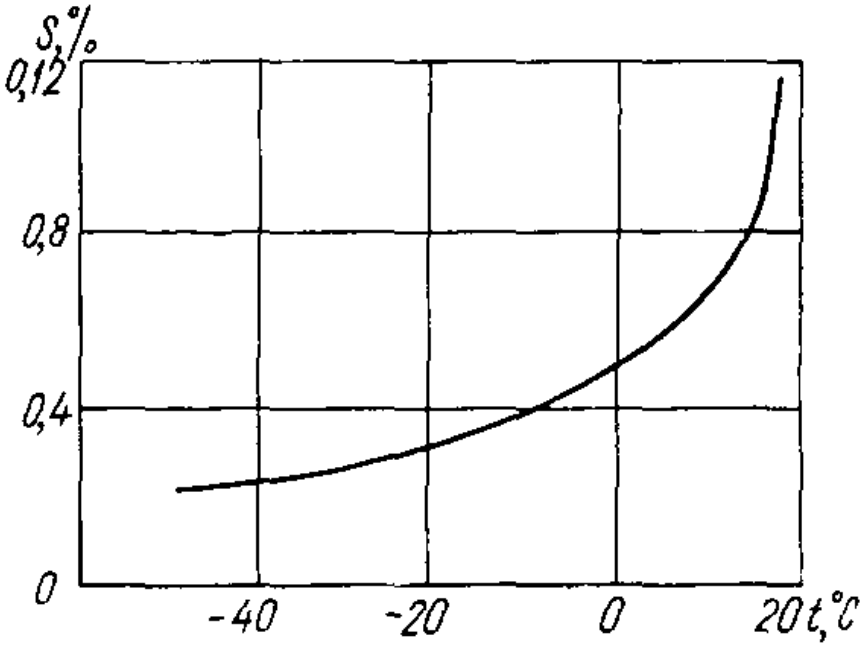
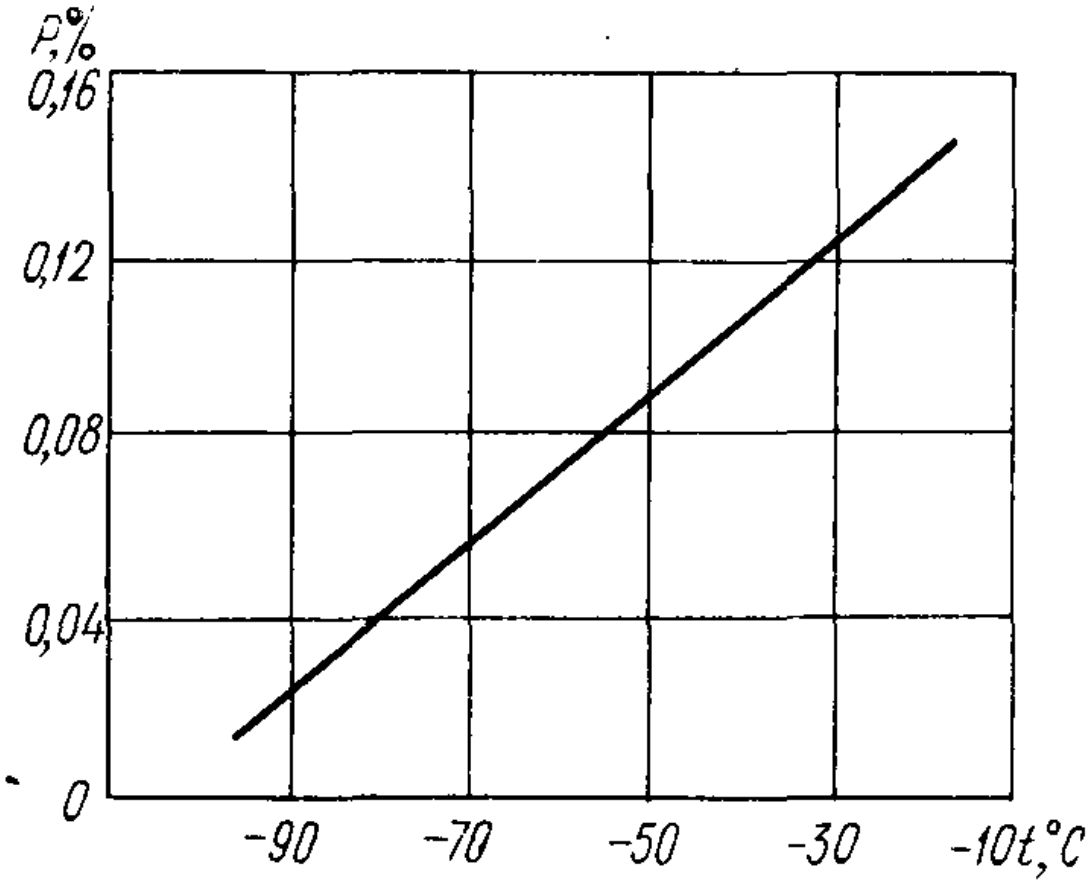
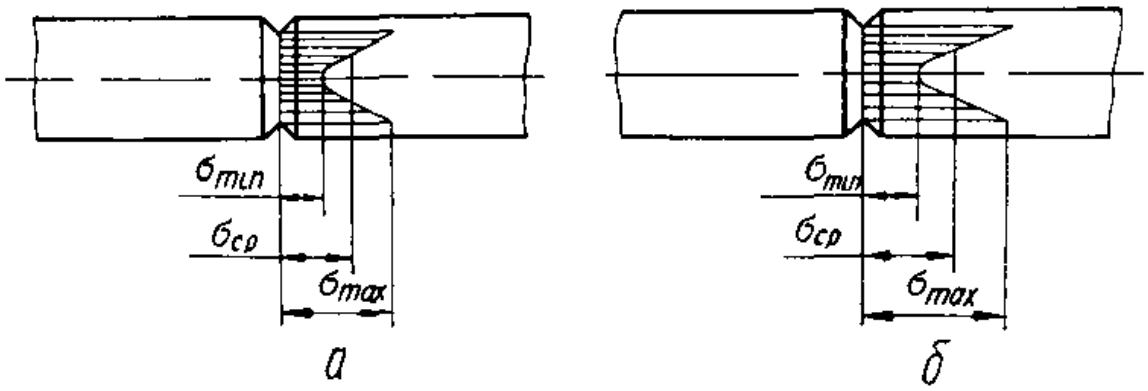


Рис. 20. Влияние содержания серы на хладноломкость стали типа 25Л.



Рнс. 21. Влияние содержания фосфора на хладноломкость стали типа 30ХНМЛ.



а *б*

Рис. 22. Влияние формы концентратора на распределение напряжений в заготовке с радиусной (*а*) и остроугольной (*б*) канавкамн.

нии серы, фосфора. Уменьшается также хладностойкость с повышением содержания углерода. Остальные элементы не влияют на это свойство стали или влияют незначительно. Оптимальное содержанне марганца в хладностойкой сталн 1,1—1,4%.

На рис. 19, 20 и 21 прнведены графики влняния некоторых элементов на хрупкое разрушение сталей при ннзкнх температурах.

Влияние остроты надреза, рнсок и подобных концентраторов напряжений на разрушенне металла иллюстри-

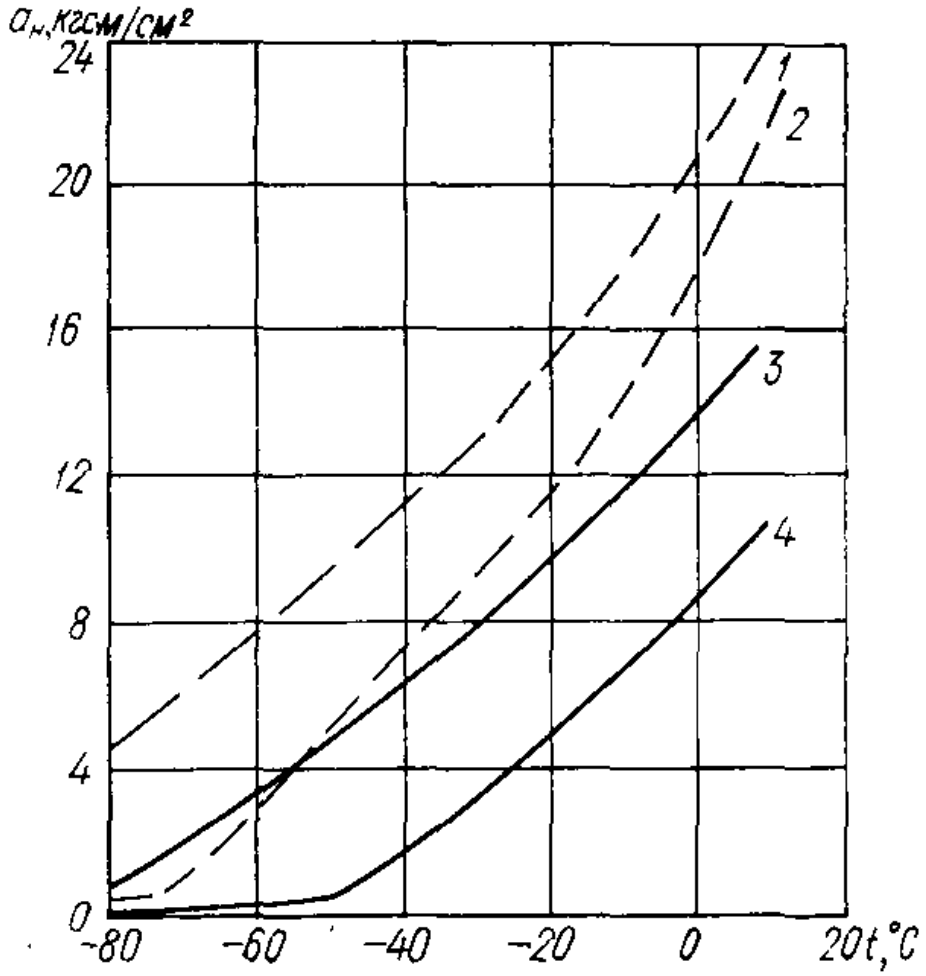


Рис. 23. Кривые хладностойкости стали 20 кп (сплошиые лиини) и 20 (пунктнрные лнниц): *1, 3* — после нормалнзации и отпуска; *2, 4*—после отжига.

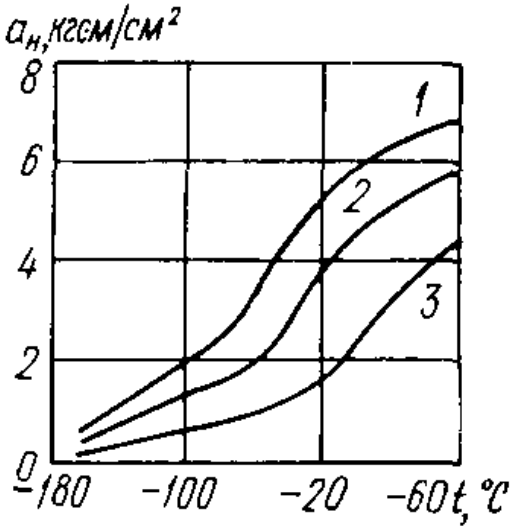


Рис. 24. Влиянне режимов термнческой обработки на хладноломкость стали 35Л:
1 — улучшенной; *2* — нормализованной; *3* — отожженной.

рует рис. 22. Чем острее угол, тем большее напряжение будет испытывать металл н тем скорее, в особенности при низкой температуре, произойдет разрушенне. Газы, растворенные в металле, также понижают хладностойкость (рнс. 23).

Кипящие стали с бóльшим содержанием газа, чем спокойные, имеют более низкие показатели хладностойкостн.

Хорошо сопротнвляется хрупкому разрушению сталь с сорбитной структурой. Отжиг не повышает хладностойкостн стали (рис. 24), поэтому производить его в этом случае нецелесообразно.

В табл. 84 приведены температуры, при которых, согласно данным ЦНИИЧермет (ГОСТ 14892—69), могут работать детали, изготовленные из некоторых марок стали.

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЧУГУНОВ

Хнмический состав чугунов приведен в табл. 85.

Режимы термической обработки серого чугуна даны в табл. 86. Ниже приведен ускоренный режнм отжига белого чугуна, модифицированного алюминнем, прн котором он превращается в ковкий *: нагрев в интервале от 250 до 500° С — 2,5—3 ч; нагрев от 500 до 900° С — 5 ч; выдержка прн 900—1000—900° С — 5 ч; охлаждение от 900 до 760° С — 3 ч; охлажденне от 760 до 720° С — 4 ч. Дальней-

* По этому режиму чугун отжигают на Таганрогском комбайновом заводе.

84. Температуры, до которых рекомендуется эксплуатировать детали, изготовленные из некоторых марок сталей

Марка стали	Температура отпуска после закалки, °С	Примериый уровеиь прочиости, кгс/мм²	Температура примеиеиия, °С, не ниже	Толщина, мм, не более
18Х2Н4ВА	200	130	—100	200
18Х2Н4ВА	550—500	100	—120	200
12ХН3А	200	100	—80	40
12ХН2	200	90	—80	30
12Х2Н4А	200	120	—70	100
15ХМ	200	90	—60	20
20М	200	100	—50	15
15Х	200	80	—50	10
20Х	200	90	—40	15
20ХГНР	200	130	—20	70
20ХГР	200	130	0	50
18ХГТ	200	120	0	20
30ХГТ	200	150	0	30
30ХГТ	550—600	100	—30	30
30ХМ3А	550	100	—80	100
30ХМА	550	95	—80	30
38ХМ10А	600—650	100	—80	60
40ХН	500	100	—80	50
40ХНМА	580—600	110	—80	70
38ХА	500	95	—60	25
40ХФА	600—650	100	—60	30
40Х	500	100	—60	25
35ХРА	550	95	—50	40
20Г	550	50	—70	10
35	500	70	—60	15
45	500	90	—50	20
40Г	500	100	—40	20
30ХГСНА	600	110	—30	60
30ХГСА	600	110	—20	40

Продолжение табл. 84

Марка стали	Температура отпуска после закалки, °С	Примерный уровень прочностн, кгс/мм²	Температура применения, °С, не ниже	Толщина, мм, не более
35ХГСА	600	120	—20	50
45Г2	600	90	—20	30

Примечания: 1. При термнческой обработке на прочность ннже указанной нли при нспользованнн деталей с толщнной стенки менее 10 мм температура эксплуатацнн может быть поннжена.

2. Максимальная толщнна, прнведенная в таблнце, обусловлена необходнмостью получення сквозной прокаливаемостн н однородности свойств по сечению.

3. По данным завода им. Лнхачева, прн эксплуатации в условнях Якутской области автомобнлей ЗИЛ-130С с шестернями заднего моста, изготовлениымн из стали 18ХГТ, случаев выхода нз строя деталей трансмнссии не было.

85. Примерный химический состав чугунов

Чугун	Содержание элементов, %							
	C	Si	Mn	Mg	Cr	Ni	P	S
					не более			
Серый	2,5—3,8	1,1—2,7	0,5—1,4	—	0,3	0,5	0,6	0,15
Высокопрочиый	2,7—3,7	1,8—3,2	0,4—0,8	0,03—0,10	—	—	0,12	0,03
Ковкий	2,2—3,2	0,7—1,5	0,5—1,0	—	0,1	—	0,2	0,2

86. Режимы термической обработки серого чугуна

Процесс	Режим	Назначенне
Отжиг низкотемпературный (нскусственное старение)	См. стр. 169	Снятне напряжений
Отжиг графитнзирующий низкотемпературиый	Нагрев до 680—750° С, выдержка 1—4 ч. Охлажденне с печью	Снятие твердости
Отжнг графитнзирующий высокотемпературный	Нагрев до 850—950° С, выдержка 0,5—5 ч. Охлажденне с печью	Снятие отбела
Нормалнзацня	Нагрев до 850—950° С, выдержка 0,5—5 ч. Охлажденне на воздухе	Повышенне механическнх свойств и снятне отбела
Закалка	Нагрев до 850—930° С, выдержка 0,5—3 ч. Охлажденне в масле нлн воде	Повышение твердости до *НВ* 500

Продолжение табл. 86

Процесс	Режим	Назначение
Поверхностная закалка	Нагрев ТВЧ нлн газовым пламенем до 850—950° С. Охлажденне в воде (в ванне нлн с помощью спрейера)	Повышение твердости до *НВ* 550
Отпуск	Такой же, как н для сталей	Уменьшение закалочных напряжений

шее охлажденне на воздухе. Общая продолжительность процесса, включая нагрев до 250° С,— 21 ч.

Для повышення прочностн и пластичностн изделня из ковкого чугуна подвергают нормалнзацин с 820—860° С (при температуре нормалнзацнн выдержнвают 20—40 мнн) н закалке с 800—830° С (при этой температуре выдерживают 10—30 мин, охлаждают в воде нлн масле). Отпуск пронзводят немедленно после закалки прн температуре 650° С.

Твердость закаленных чугунных изделнй нзмеряют обычно на прнборах Роквелла. Структура закаленного чугуна состоит из мартенснта (твердость *НВ* 800) и графнта (твердость *НВ* 8). Испытанне по Роквеллу показывает среднюю твердость двух структур и не характернзует степень закалкн. Истинную твердость закаленной металлнческой основы можно провернть на приборе для определения мнкротвердостн ПМТ-3.

Искусственное старение и высокотемпературный отжнг высокопрочного чугуна проводятся при такнх же режимах, как и серого чугуна (табл. 86). Калят их от температуры 900° С в масле. Высокопрочный чугун имеет склонность к образованню закалочных трещнн.

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Медь и ее сплавы

Медь отжнгают прн температуре 500—700° С, охлаждают на воздухе или в воде. Твердость после отжнга *НВ* 35.

Приводим условные обозначення элементов, принятые для маркировки медных сплавов:

Алюминий	А
Бериллий	Б
Желсзо	Ж
Кремний	К
Магний	Мг
Марганец	Мц
Медь	М
Ннкель	Н
Олово	О
Свииец	С
Хром	Х
Цннк	Ц

Латуни — зто сплавы медн с цнником. Их состав расшнфровывают по названню марки. Первая буква маркн Л — латунь, последующие буквы обозначают элементы, входящне в состав латунн. Первая цифра обозначает процентное содержание медн, а остальные — процентное содержание элементов в том же порядке, в котором они записаны в обозначенни маркн. Колнчество цинка составляет разницу от 100%.

Примеры расшнфровки: 1. Л63 — латунь, медн 63%, цннка 37%.

2. ЛЖМц59-1-1 — латунь, медн 59%, железа 1%, марганца 1%, цинка 39%.

87. Ориентировочные режимы отжига и примерные механические свойства латуней (ГОСТ 15527—70)

Марка латуни	Температура отжига, °С	Механические свойства		
		$\sigma_в$, кгс/мм²	δ, %	Твердость *HB*
Л96	540—600	24	50	60
Л90	650—720	26	45	63
Л85	650—720	28	45	54
Л80	600—700	32	52	53
Л70	580—650	32	55	52
Л63	600—700	36	49	56
Л60	600—700	39	44	—
ЛА77-2, ЛАМш77-2-0,05	600—650	38	50	50
ЛАЖ60-1-1	650—700	42	50	50
ЛАН59-3-2	600—650	50	42	117
ЛЖМц59-1-1	600—650	45	50	100
ЛН65-5	620—650	38	65	64
ЛМц58-2	600—650	44	36	85
ЛМцА57-3-1	600—700	55	30	110
ЛО90-1	650—700	28	45	58
ЛО70-1	600—630	35	62	48
ЛО62-1	550—650	38	37	85
ЛО60-1	600—650	38	40	85
ЛС63-3	600—650	35	55	50
ЛС74-3	600—650	35	45	55
ЛС64-2	620—670	34	55	50
ЛС60-1	600—650	37	45	75
ЛС59-1	600—650	42	45	90
ЛК80-3	600—650	30	30	50

88. Режимы отжига и примерные механические свойства бронз оловянных (ГОСТ 5017—74) и безоловянных (ГОСТ 18175—72), обрабатываемых давлением

Марка бронзы	Температура отжига	Механические свойства		
		$\sigma_в$, кгс/мм²	δ, %	*НВ*
		Оловянные		
БрОФ8-0,3 БрОФ7-0,2 БрОФ6,5-0,4 БрОФ6,5-0,15	630—650	35—45	60—70	70—90
БрОФ4-0,25	600—650	34	52	55—70
БрОЦ4-3	580—620	35	40	60
БрОЦС4-4-2,5 БрОЦС4-4-4	580—620	30—35	35—45	60
		Безоловянные		
БрА5	700—740	38	65	60
БрА7	700—740	42	70	70
БрАМц9-2	700—740	55	45	107
БрАМц10-2	700—740			
БрАЖ9-4	700—750	60—64	40	110
БрАЖМц10-3-1,5	650—750	60—64	27—30	120
БрАЖН10-4-4	700—750	60	35	140—160
БрБ2 БрНТ1,7 БрНТ1,9	650—750	50	30	100
БрКМц3-1	600—680	—	—	80
БрКН1-3 БрМц5	700—750	30	40	80

89. Орнеитировочные режимы закалки и отпуска бронз

Марка бронзы	Температура нагрева для закалки, °С	Температура отпуска, °С	Твердость *НВ*
БрАЖ9-4	850	350	—
БрАМц9-2 БрАМЦ10-2	800	400	150—190
БрАЖН10-4-4 БрАЖМц10-3-1,3	980 830—860	400 300—350	До 400 207—285
БрБ2 БрБНТ1,7 БрБНТ1,9	760—780	310—330	Не менее 320
БрКН1-3	850	450	150—200

Примечание. Указанные в таблнце бронзы калят в воде.

Режнмы отжига и механнческие свойства латуней прнведены в табл. 87.

Броизы — это сплавы меди с оловом (оловянные бронзы) н другнмн элементами (безоловянные специальные), главным образом с алюминнем. Хнмнческнй состав бронз расшифровывается так же, как и латуней. Режнмы закалкн, отпуска, отжнга бронз прнведены в табл. 88 н 89.

Изделия из бронз н латуней загружают в нагретую до требуемой температуры печь, а охлаждают с печью или на воздухе.

Никель и его сплавы

Температура отжига никеля 750—900° С, твердость после отжнга *НВ* 70—90.

Безокнслнтельный отжиг никеля и его сплавов производят в атмосфере защнтных газов. При отсутствнн газовой защнтной атмосферы нзделня загружают в ящик, добавляют древесный уголь, ящнк закрывают крышкой. Швы тщательно обмазывают глиной с шамотом.

90. Режимы отжига и примерные механические свойства никелевых и медноникелевых сплавов (ГОСТ 492—73)

Сплав	Марка сплава	Температура, °С	Твердость *НВ*
Никель марганцовистый	НМц2,5	800—900	—
То же	НМц5	800—850	147
Монель	НМЖМц28-2,5-1,5	800—850	120—130
Хромель	НХ9,5 и НХ9	850—900	150—200
Алюмель	НМцАК2-2-1	900—950	120—130
Мельхнор	МНЖМц30-0,8-1	780—810	60—70
"	МН19	700—780	70
Нейзнльбер	МНЦ15-20	700—750	70
Нейзнльбер свинцовый	МНЦС17-18-1,8	750	82
Медноннкелевый сплав	МН5-1	650	38
Сплав ТП	МНО,6	500	50—60
Сплав ТБ	МН16	750—760	70
Копель	МНМЦ43-0,5	800—850	85—90
Константан	МНМЦ40-1,5	800—850	75—90
Манганин	МНМц3-12	700—750	120
Нихром	Х20Н80	850—1000	—
Ферроннхром	Х15Н60	750—850	160

Химическнй состав ннкелевых и медноннкелевых сплавов легко определить по марке сплава. Если в сплаве основным элементом является ннкель, то первая буква марки сплава — Н, если основным элементом является медь, первая буква маркн сплава — М. Последующне буквы и цифры определяют наименованне элементов и процентное содержание их в сплаве.

Примеры расшифровкн: 1. Сплавы ннкелевые. Алюмель НМцАК2-2-1 Этот сплав содержит марганца 2%, алюминия 2%, кремння 1%, а остальные 95% — никель н кобальт.

2. Сплавы меднонкелевые. Копель МНМц43-0,5. В этом сплаве среднее содержанне ннкеля — 43%, маргаица — 0,5%, а остальное — медь.

Режнмы отжнга ннкелевых н меднонкелевых сплавов приведены в табл. 90.

Магний и его сплавы

Температура отжнга магння 300—350° С. Твердость после отжнга *НВ* 40 (табл. 91 *и* 93).

91. Условные обозначения, назначение и виды термической обработки магниевых сплавов

Вид обработки	Обозиачение	Назначение
Отжиг	Т2	Снятие внутреннних напряжений, снятне наклепа н повышенне пластнчностн
Закалка	Т4	Повышенне механических свойств
Закалка н старенне	Т6	Повышение предела текучести

Температура отжнга алюмнния 370—400° С. Твердость после отжига *НВ* 20.

Алюминневые деформируемые сплавы. Температура воды прн закалке 30—80° С. При 80° С калят детали сложной конфигурацни во избежание деформацин и образования трещин. Перенос из печи в закалочный бак (табл. 92, 94) не должен длиться более 20 с.

Через некоторое время после закалки сплав начинает

92. Примерная продолжительиость нагрева, мин, прн закалке алюминиевых деформируемых сплавов

Оборудование для нагрева	Толщина илн диаметр матернала, мм									
	До 0,8	0,8—2,5	2,5—5,0	5—12	12—20	20—50	60	70	80	90
Селнтровая ванна	8	10	12	15	30	40—60	60	70	80	90
Воздушная электрпечь	12	20—30	40	80	90	110	130	130	180	180

Примечания: 1. Время выдержкн счнтают с того момента, когда печь после загрузкн достигла требуемой температуры.

2. Продолжнтельность выдержкн нзделия в печн подбнрают по нанбольшему его сеченню.

3. Излишняя выдержка плакированных сплавов понижает свойства плакированного слоя.

4. В случае повторной закалкн время нагрева следует сократнть вдвое.

93. Рекомендуемые режнмы термической обработки маг н орнентировочные механнческие

Марка сплава	Условное обозначе-нне термической обработки	Температура нагрева для отжига и закалки, °С	Выдержка, ч	Закалочная среда
		Деформируемые сплавы		
МА1	Т2 Т2	230—250 300—350	0,5 0,5	Воздух „
МА2 МА2-1	Т2	До 400	3—5	Воздух „
МА5	Т2 Т4 Т6	350—380 410—425 410—425	3—6 2—6 4	„ Горячая вода То же
МА8	Т2 Т2	300—350 230—250	0,5 0,5	Воздух „
МА14 (ВМ65)	Т2 Т2 Т6	300—350 230—250	0,5 0,5	Воздух „
МА17 (МДЗ-1)				

ниевых сплавов в электропечах с воздушной средой свойства (ГОСТ 14957—69)

Старение			Механические свойства		
Температура нагрева, °С	Выдержка, ч	Охлаждающая среда	$\sigma_в$, кгс/мм²	δ, %	*HB*
(ГОСТ 14957—69)					
—	—	—	26	10	48
—	—	—	19	3	35
—	—	—	24	5	45
—	—	—	—	—	—
—	—	—	34	15	64
170—200	8—16	Воздух	—	—	—
—	—	—	23	14	43
—	—	—	27	10	50
—	—	—	22	—	41
—	—	—	—	12	—
170	10	Воздух	32	6	59

Марка сплава	Условное обозначение термической обработки	Температура нагрева для отжига и закалки, °С	Выдержка, ч	Закалочная среда
		Литейные сплавы		
МЛ2	Т2	300—340	3—5	С печью
МЛ3	Т2	300—340	3—5	С печью
МЛ4	Т2 Т4 Т6	280—320 375—385 375—385	3—5 8—16* 8—16	С печью Воздух „
МЛ5	Т2 Т4 Т6	345—355 410—420 410—420	2—3 8—16 8—16	Воздух „ „
МЛ6	Т2 Т4 Т6	170—250 405—415 405—415	3—5 24—32 24—32	С печью Воздух Воздух
МЛ7-1	Т2	325	3	Воздух
МЛ11	Т6	570	18	Воздух

Примечания: 1. Вместе с садкой на дно печи расчета 0,75 кг на 1 м³ объема печи.

2. Необходимо, чтобы отливки, загружаемые в печь,

3. Звездочкой помечено время для отливок в кокиль. время следует увеличивать до 35 ч.

Продолжение табл. 93

Старение			Механические свойства		
Температура нагрева, °С	Выдержка, ч	Охлаждающая среда	$\sigma_в$, кгс/мм²	δ, %	*НВ*
(ГОСТ 2856—68)					
—	—	—	9	3	30
—	—	—	16	6	40
—	—	—	16	3	50
—	—	—	21	4	55
170—180	16	Воздух	22	2	60
—	—	—	15	2	50
—	—	—	21	4	50
195—205	8	Воздух	22	2	60
—	—	—	15	1	50
—	—	—	15	5	60
185—195	4—8	Воздух	26	1	80
—	—	—	—	—	—
205	16	—	—	—	—

следует установить противень с серным колчеданом из былн сухими.

Прн отливке в землю в зависнмости от толщнны стенки

94. Рекомендуемые режимы термической обработки и алюминиевых сплавов

Марка сплава	Отжиг		Закалка	
	Температура нагрева, °С	Охлаждающая среда	Температура нагрева, °С	Охлаждающая среда
АД0	380—420	Воздух	—	—
АД1	380—420	Воздух	—	—
АМц	380—420	Воздух	—	—
Д12	380—420	Воздух	—	—
АМГ2	380—420	Воздух	—	—
АМГ3	380—420	Воздух	—	—
АМГ5	380—420	Воздух	—	—
АМГ6	380—420	Воздух	—	—
АВ	380—420	Воздух	— 510—530	— Вода
Д1	— —	— —	— 495—510	— Вода

ориентировочные механические свойства деформируемых (ГОСТ 4784—74)

	Старение		Механические свойства		
	Температура нагрева, °С	Время выдержки, ч	$\sigma_в$, кГ/мм²	δ, %, не менее	Твердость *HB*
	–	—	⩾6	25	17
	—	—	⩾6	28	17
	—	—	9—15	20	24—39
	—	—	16	15	42
	—	—	17—24	18	45—63
	—	—	19	15	50
	—	—	28	15	74
	—	—	32	15	84
	— 150—165	— 12—15	⩽15 ⩾30	20 8	39 79
	— 15—40	— 96	⩽23 ⩾38	12 15	61 100

Марка сплава	Отжиг		Закалка	
	Температура нагрева, °С	Охлаждающая среда	Температура нагрева, °С	Охлаждающая среда
Д16	380—420 —	Воздух —	— 495—503	— Вода
Д19	380—420 —	Воздух —	— 495—505	— Вода
Д20	380—420 —	Воздух —	— 530—540	— Вода
В95	380—420 —	Воздух —	— 465—475	— Вода
АД31	380—420 —	Воздух —	— 515—530	— Вода
АД33	380—420 —	Воздух —	— 515—530	Вода
АД35	380—420 —	Воздух —	— 515—530	— Вода
АК4	380—420 —	— —	— 525—535	—

Старение		Механические свойства		
Температура нагрева, °С	Время выдержки, ч	$\sigma_в$, кГ/мм²	δ, %, не менее	Твердость *НВ*
—	—	⩽23	10	61
15—40	96	⩾43,5	10	114
—	—	⩽24	10	63
185—195	12—14	⩾41,5	10	109
—	—	⩽24	15	63
165—175	10—16	⩾38	8	109
—	—	⩽25	10	66
135—145	15—17	⩾50	6	132
—	—	10	—	26
160—170	10—12	20	8	52
160—170	10—12	14 26	19 6	35 69
—	—	15	23	39
160—170	10—12	33	8	87
—	—			
165—180	10—16	44	10	117

Марка сплава	Отжиг		Закалка	
	Температура нагрева, °С	Охлаждающая среда	Температура нагрева, °С	Охлаждающая среда
АК4-1	380—420 —	— —	— 525—535	—
АК6	380—420 —	— —	— 505—525	—
АК8	380—420 —	— —	— 495—505	—
1915	380—420	—	—	—
1925	380—420 —	— —	— 445—455	— Вода

Примечания: 1. Время выдержки при отжиге
2. Можно отжигать при 350—370° С с выдержкой
3. Неупрочняемые сплавы в состоянии нагартовки 150—300° С с целью повышения пластичности и сохранения
4. После выдержки при температуре старения все спла в воде.

Продолжение табл. 94

Старение		Механнческие свойства		
Температура нагрева, °С	Время выдержки, ч	$\sigma_в$, кГ/мм²	δ, %, не менее	Твердость *НВ*
—	—			
185—200	12—14	44	12	117
—	—			
150—165	6—15	42	13	110
—	—			
150—175	4—12	49	12	130
—	—	—	—	—
—	—	30	12	79
15—40	30 суток	34	10	89

10—60 мнн, охлаждение 30 град/ч до 260°, затем на воздухе.
2—4 ч, *а* затем охлаждать на воздухе.
подвергают также низкотемпературному отжигу прн полунагартованного состояння.
вы охлаждают на воздухе, при температуре закалкн —

95. Рекомендуемые режимы термической обработки алю (ГОСТ

Марка сплава	Условное обозначение вида термической обработки	Закалка		
		Температура нагрева, °С	Выдержка, ч	Температура воды, °С
АЛ1	Т1 Т2 Т7	— — 510—520	— — 2—4	— — 20—100
АЛ2	Т2	—	—	—
АЛ3*	Т1 Т2 Т5	— — 520—530	— — 4—6	— — 20—100
АЛ3*	Т7 Т8	520—530 520—530	4—6 5—6	20—100
АЛ4	Т1 Т6	— 530—540	— 2—6	— 20—100
АЛ5	Т1 Т5 Т6 Т7	— 520—530 520—530 520—530	— 3—5 3—5 3—5	— 20—100

мнневых литейных сплавов и их механические свойства 2685—63)

Отжиг, отпуск и старение		Механические свойства		
Температура нагрева, °С	Выдержка, ч	$\sigma_в$, кгс/мм²	δ, %	Твердость *HB*
168—174	40—48	20	0,5	95
340—345	2—4	19	1	70
210—230	2—4	21	0,5	95
250—300	2—4	14	4	50
175—185	3—5	14	0,5	65
280—300	2—4	15	1	65
175—185	3—5	22	0,5	75
225—235	3—5	21	1	70
325—335	3—5	18	2	65
170—180	5—17	18	2	65
170—180	10—15	23	3	70
175—185	5—10	16	0,5	65
170—180	5—10	20	0,5	70
195—205	3—5	23	0,5	70
220—240	3—5	18	1	65

Марка сплава	Условное обозначение вида термической обработки	Закалка		
		Температура нагрева, °С	Выдержка, ч	Температура воды, °С
АЛ6	Т2	—	—	—
АЛ7	Т4 Т5	510—520 510—520	10—15 10—15	80—100
АЛ8	Т4	425—435	12—20	80—100
АЛ9	Т2 Т4 Т5 Т6 Т7 Т8	— 530—540 530—540 530—540 530—540 530—540	— 2—6 2—6 2—6 2—6 2—6	— 50—100
АЛ9В	Т5	530—540	4—10	50—100
АЛ10В	Т1	—	—	—
АЛ11	Т2	—	—	—
АЛ13	Т2	—	—	—
АЛ14В	Т1 Т5	— 510—520	— 5—12	— 50—100

Продолжение табл. 95

Отжиг, отпуск и старение		Механические свойства		
Температура нагрева, °С	Выдержка, ч	$\sigma_в$, кгс/мм²	δ, %	Твердость *HB*
290—310	2—4	15	1	45
— 145—155	— 2—4	20 22	6 3	60 70
—	—	29	9	60
280—300 — 150—160 200—210 240—250 320—340	2—4 — 1—3 2—4 3—5 3—5	14 18 20 23 20 16	2 4 2 1 2 3	45 50 60 70 60 55
150—160	3—5	20	0,5	75
205—215	5—6	15	—	80
290—310	2—3	22	2	80
280—300	2—3	17	3	65
225—235 145—155	8 3	21 20	1,5 0,5	— 85

Марка сплава	Условное обозначение вида термической обработки	Закалка		
		Температура нагрева, °С	Выдержка, ч	Температура воды, °С
АЛ15В	Т5	495—505	5	—
АЛ16В	Т5	495—505	5	—
АЛ17В	Т1	—	—	—
	Т2	—	—	—
	Т4	495—505	5	50—100
	Т5	495—505	5	—
АЛ19*	Т4	542—548	10—12	20—100
	Т5	542—548	5—9	—
	Т7	542—548	5—9	—
АЛ20*	Т2	—	—	—
	Т5	510—520	4—6	20—100
	Т7	510—520	4—6	80—100
АЛ21*	Т2	—	—	—
	Т7	520—530	4—6	80—100
АЛ22	Т4	420—430	15—20	100
АЛ23**	Т4	430—440	12	85—100
АЛ23-1	Т4	430—440	12	—

Продолжение табл. 95

Отжиг, отпуск и старение		Механические свойства		
Температура нагрева, °С	Выдержка, ч	$\sigma_в$, кгс/мм²	δ, %	Твердость *НВ*
145—155	2—3	20	—	80
175—185	5—6	20	—	70
170—180	5	19	—	70
280—300	2—4	18	1	60
—	—	20	1	70
175—185	5—6	20	—	70
—	—	30	8	70
170—180	3—6	37	5	100
240—260	3—10	—	—	—
290—310	2—4	16	1	65
170—180	3—5	25	1	65
240—260	3—10	21	1	65
290—310	5—10	18	1	65
290—310	5—10	21	1	75
—	—	23	1,5	90
—	—	23	6	60
—	—	25	10	60

Марка сплава	Условное обозначение вида термической обработки	Закалка		
		Температура нагрева, °С	Выдержка, ч	Температура воды, °С
АЛ24**	Т5	575—585	4—6	50—100
АЛ27-1**	Т4	430—440	20	50—100
АЛ25	Т1	—	—	—
АЛ26	Т2	—	—	—
АЛ30	Т1	—	—	—

Примечания: 1. Сплавы, отмеченные звездочкой, первой ступенн на 10—20° С ннже температуры оконча
2. Указанные в таблице сплавы калят в воде.
3. Сплавы, помеченные двумя звездочками, калят не
4. Прнведенные режнмы рекомендуются для печей
5. Механические свойства сплавов АЛ25, АЛ26 и АЛ30 отлнвок в землю.
6. Сплав АЛ2 после выдержки при температуре отжига
7. Условные обозначения видов термнческой обработки закалка, Т5 — закалка и частичное старение, Т6 — закалка отпуск, Т8 — закалка н смягчающнй отпуск.

Продолжение табл. 95

Отжиг, отпуск и старение		Механические свойства		
Температура нагрева, °С	Выдержка, ч	$\sigma_в$, кгс/мм²	δ, %	Твердость *НВ*
—	8—10	27	2	70
—	—	38	20	90
220—220	10—12	20	—	100
220—240	10—12	19	—	100
195—205	10—12	20	0,5	90

нагревают под закалку ступенчато. Температура нагрева
тельного нагрева. Время выдержкн следует разделить.

только в воде, но и на воздухе.
с воздушной средой.
указаны для отливок в кокиль; остальных сплавов — для

охлаждают с печью до 80° С, а затем — на воздухе.
расшнфровываются так: Т1 — старение, Т2 — отжиг, Т4 —
и полное старенне, Т7 — закалка и стабнлнзнрующнй

стареть. Промежутки времени между закалкой и началом старения приведены ниже:

Марка сплава	Время, ч
Д1, АК4, АК4-1, АВ, АК6	2—3
Д6, Д16	1,5
В95	6

Алюминиевые литейные сплавы с высоким содержанием магния из-за опасности возгорания следует нагревать под закалку в воздушных печах, а не в селитровых ваннах. Период между извлечением из печи и охлаждением должен быть наименьшим. Чем сложнее конфигурация изделия, тем выше должна быть температура охлаждающей среды (табл. 95).

Титан и его сплавы

В табл. 96 приведены режимы термической обработки титана и его сплавов и их механические свойства в зависимости от примененного процесса. Отжигают сплавы ти-

96. Рекомендуемые режимы термической обработки титановых сплавов и их механические свойства (ГОСТ 90013—71)

Марка сплава	Вид термической обработки	Режим процесса			Механические свойства, не менее	
		Температура нагрева, °С	Время выдержки, ч	Охлаждающая среда	$\sigma_в$, кгс/мм²	δ, %
ВТ1-00	Отжиг	520—540	0,5	Воздух	30—45	25
ВТ1-0	„	520—540	0,5	„	40—55	25

Продолжение табл. 96

Марка сплава	Вид термической обработки	Режим процесса			Механические свойства, не менее	
		Температура нагрева, °С	Время выдержки, ч	Охлаждающая среда	$\sigma_в$, кгс/мм²	δ, %
ОТ4-0	Отжиг	590—610	0,25—1	Воздух	50—65	25
ОТ4-1	„	640—660	0,25—1	„	60—75	20
ОТ4	„	660—680	0,25—1	„	70—85	20
ВТ4	„	690—710	0,25—1	„	85—105	15
ВТ5	„	800—850	0,25—1	„	75—95	10
ВТ5-1	„	700—760	0,25—1	„	75—95	15
ВТ6С	Отжиг	750—800	0,25—1	„	85—100	10
	Закалка	880—930	0,1—1	Вода или масло	105	6
	Старение	450—500	2—4	Воздух		
ВТ6	Отжиг	750—800	0,5—4	Воздух	92—107	10
	Закалка	900—950	0,1—1	Вода, масло		
	Старение	450—550	2—4	Воздух	110	6
ВТ20	Отжиг	700—800	1	Воздух	95—115	10

Продолжение табл. 96

Марка сплава	Вид термической обработки	Режим процесса			Механические свойства, не менее	
		Температура нагрева, °С	Время выдержки, ч	Охлаждающая среда	$\sigma_в$, кгс/мм²	δ, %
ВТ14	Отжиг	740—760	0,25—1	Воздух	90—105	8
	Закалка	870—910	0,1—1	Вода		
	Старение	480—560	8—16	Воздух	110	5
ВТ15	Закалка	700—800	0,25—1	Вода		
	Старение	450—500	15—25	Воздух	130	4
ВТ16	Отжиг	770—790	2	С печью	83—95	16
	Закалка	800—820	2	Вода		
	Старение	540—570	10	Воздух	105—125	12
ВТ18	Отжиг	720—780	1—2	С печью	105—115	12
	Закалка	700—760	1	Вода	—	—
	Старение	500—560	8—16	Воздух		
ВТ23	Отжиг	740—760	0,25—1	Воздух	110	8
	Закалка	780—800	0,1—1	Вода	$\geqslant$140	6
	Старение	480—520	10	Воздух		
ВТ3-1	Отжиг	530—620	0,5—4	Воздух	100—120	10
	Закалка	840—900	1—4	Вода		
	Старение	500—620	1—6	Воздух	$\geqslant$120	6

Продолжение табл. 96

Марка сплава	Вид термической обработки	Режим процесса			Механические свойства, не менее	
		Температура нагрева, °С	Время выдержки, ч	Охлаждающая среда	$\sigma_в$, кгс/мм²	δ, %
ВТ8	Отжиг	530—620	0,5—4	Воздух	100—120	9
	Закалка	920—940	1—4	Вода		
	Старение	500—600	1—6	Воздух	≥120	6
ВТ9	Отжиг	530—620	0,5—4	Воздух	105—125	9
	Закалка	920—940	1—4	Вода		
	Старение	550—580	6	Воздух	≥ 120	6
ВТ18	Отжиг	900—980	1—4	Воздух	95—115	10

тана в электрнческих печах с автоматнческим регулированием температуры. Детали загружают в иагретую до требуемой температуры печь.

СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ О МАТЕРИАЛАХ И ОБОРУДОВАНИИ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ТЕРМИЧЕСКИХ ЦЕХАХ

Удельный расход топлива и материалов

В камерных печах удельный расход газа защнтной атмосферы составляет 2,0—2,5 м³ на 1 м³ объема рабочего пространства печи нли 5—8 м³ на 1 т нагреваемого матернала. В табл. 97—100 приведены справочиые данные

97. Ориентировочные нормы удельной производительности печей, кг/м² · ч, для различных операций термической обработки

Операция термообработки	Печь					
	камерная	с выдвижным подом	толкательная	конвейерная	с вращающимся подом	с шаровым подом
Нормализация	120—150	60—100	150—200	150—200	160—200	180—220
Отжиг	40—60	35—50	50—70	—	—	40—100
Закалка	120—160	60—80	120—150	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

98. Плотиость и температура плавления некоторых твердых веществ

Наименование	Формула	Температура плавления, °С	Плотность, кг/м³
Алюминий	Al	658	2700
Асбест	—	1480—1510	2100—2800
Асбестовый картон	—	—	1200
Барий	Ba	704	3500
Барий хлористый	$BaCl_2$	962	3860
Бериллий	Be	1350	1820
Бор	B	2300	2320
Бронза алюмнниевая	—	—	7700
Бронза оловянная	—	—	8800
Бронза фосфористая	—	950—970	8800
Бура (безводная)	$Na_2B_4O_2$	711	2370
Ванадий	V	1720	5870
Вольфрам	W	3370	19 300
Глина сухая	—	—	1520
Гравий сухой	—	—	1800
Графит	C	3500	2250
Дерево сухое:			
береза	—	—	510—770
дуб	—	—	700—1000
сосна	—	—	310—780
Дюралюминий	—	—	2600—2800
Железо	Fe	1535	7860
Калий	K	62	860
Кали едкое	KOH	360	2040
Калий хлористый	KCl	—	1990
Калий цианистый	KCN	634	1520
Кальций	Ca	850	1550
Карбид кальция	$CaCl_2$	2300	2220
Карбид вольфрама	WC	2777	15 700

Продолжение табл. 98

Наименование	Формула	Температура плавления, °С	Плотность, кг/м³
Карбид железа	Fe_3C	—	7400
Карбид кремния	SiC	2700	3170
Карбюризатор	—	—	500
Кокс	—	—	1400
Корунд	Al_2O_3	2050	3900
Кровяная соль желтая	$K_4Fe(CN)_6$	—	1950
Кровяная соль красная	$K_3Fe(CN)_6$	—	1850
Латунь	—	880—910	8500
Медь	Cu	1083	8920
Молибден	Mo	2625	10 200
Мрамор	—	—	2520—2850
Натрий	Na	97	970
Нитрит натрия	$NaNO_2$	—	—
Нейзильбер	—	1100	8500
Никель	Ni	1452	8900
Песок сухой	—	—	1200—1650
Селитра натриевая	$NaNO_3$	317	1800
Селитра калиевая	KNO_3	337	1780
Сода кальцинированная	Na_2CO_3	851	2530
Сода каустическая	NaOH	322	1720
Соль поваренная	NaCl	801	2160
Стекло	—	—	2400—3900
Твердый сплав типа ВК	—	—	14000—15000
Титан	Ti	1800	4500

Продолжение табл. 98

Наименование	Формула	Температура плавления, °С	Плотность, кг/м³
Твердый сплав типа ТК	—	—	6500—13 000
Хром	Cr	1615	6920
Чугуи серый	—	—	6700—7600
Шамот	—	—	1800—2200

99. Плотность некоторых жидких веществ

Наименование	Формула	Плотность, т/м³
Азотная кислота	HNO_3	1,5
Ацетон	CH_3COCH_3	0,79
Бензин	—	0,7—0,75
Бензол	C_6H_6	0,88
Масло машинное	—	0,9
Вода при 40°С	H_2O	1,0
Глицерин	$CHOH(CH_2OH)_2$	1,26
Керосин	—	0,8—0,82
Серная кислота	H_2SO_4	1,84
Соляная кислота	HCl	1,19

100. Удельный расход мазута и газа при различных процессах термической обработки

Процесс термической обработки	Расход мазута, кг/т		Расход газа, м³/т	
	Печь			
	камерная	проходная	камерная	проходная
Отжиг	220	—	338	—
Нормализация	95	80	148	116
Закалка	95	80	148	116
Отпуск	50	40	59,9	48
Газовая цементацня	—	—	—	280
Цементация в твердом карбюризаторе	520	450	760	660

* Теплотворная способность мазута 9800 ккал/кг, газа — 8500 ккал/м³.

101. Удельный расход электроэнергии по видам термической обработки

Процесс термической обработки	Расход электроэнергии, кВт·ч/т, в печи	
	камерной	проходной
Отжиг	280	200
Нормалнзация	200	160
Закалка	250	160
Отпуск	130	140
Цементация в твердом карбюризаторе	600	510

102. Ориентировочные удельные нормы расхода некоторых вспомогательных материалов, применяемых при термической обработке

Операция	Материал	Расход, г, на 1 кг обрабатываемых изделий	Температура, °С
Нагрев для закалки	Хлористый натрий	20	800—900
	Хлористый барий	30	То же, для температуры выше 1000
Охлаждение при закалке	Масло	15	40—160
	Каустическая сода	20	360—400
	Селитра	15	150—450
Отпуск	Селитра	20	300—500
	Щелочь	20	300—550
Обработка холодом	Фреон	5	—60
	Сухой лед	350	—60
	Бензин или ацетон	100	

Продолжение табл. 102

Операция	Материал	Расход, г, на 1 кг обрабатываемых изделий	Температура, °С
Цементация	Триэтаноламин	60	900—950
	Твердый карбюризатор	100	
	Керосин	18	
	Пиробензол	15—75	
	Синтин	18	
Цианирование газовое	Керосин (55%)	18	840—860
	Аммиак (45%)	15	
	Керосин (60%)	6,5	520—570
	Аммиак (40%)	4	
Цианирование жидкое	Цианистый натрий (50%)	20—40	800—850
	Хлористый барий (35%)	15—25	
	Хлористый натрий (15%)	15	
	Желтая кровяная соль (50%)	20	800—850

Продолжение табл. 102

Операция	Материал	Расход, г, на 1 кг обрабатываемых изделий	Температура, °С
Цианирование жидкое	Хлористый натрий (50%)	8	800—850
	Цианистый натрий (100%)	20—40	520—570
Цианирование твердое	Древесный уголь (70%)	60	520—570
	Желтая кровяная соль (30%)	20	
Азотирование газовое	Аммнак	160—200	500—560
Азотирование жидкостное	Цианат натрия	30	560—580
	Мочевина	20	
	Кальцииированная сода	20	
	Хлористый калий	10	
Омеднение	Медь анодная	0,2	Для предохранения от цементации

Продолжение табл. 102

Операция	Материал	Расход, г, на 1 кг обрабатываемых изделий	Температура, °С
Травлеиие	Кислота	30—40	20—60
Очистка	Дробь	3	—

103. Характеристика топлива

Топливо	Теплотворная способность, ккал/м³	Плотность, т/м³
Мазут	9 600	0,89
Газ пиролиза нефти	11 332	0,88
Саратовский и Дашавский газы	8 500	0,73

о производительности печей, плотиость и температура плавлеиия и удельиые расходы материалов, применяемых при термической обработке, характеристики топлив.

Измерение температуры

Температуру в печах измеряют термопарамн, работающими в паре с показывающими приборами (табл. 104). В качестве показывающих приборов применяют милли-

104. Характеристика термопар (ГОСТ 6616—74)

Термопара	Предел измеряемой температуры, °С		
	нижний	верхиий при пользовании	
		длительиом	кратковременном
ВР5/20	0	2200	2500
ПР30/6	300	1600	1800
ПП	0	1300	1600
ХА	—200	1000	1300
ХК	—200	600	800

вольтметры, а также показывающие, записывающие и регулирующие потеициометры.

В высокотемпературных печах с жидкой средой температуру измеряют, как правило, радиационными (с телескопами типа ТЭРА-50) или оптическнми пирометрами (типа ОППИР). Определение температуры поверхности нзделия от 40 до 500° С производят при помощи термокараидашей.

Список литературы

1. *Ассонов А. Д.* Термическая обработка деталей автомобиля. М., Машгиз, 1958. 263 с. с ил.

2. *Бирюкова В. Н.* Охлаждающая способиость расплавов солей и щелочей, содержащих воду.— «МиТОМ», 1967, № 11, с. 20—24.

3. *Геллер Ю. А.* Инструмеитальная сталь. М., «Металлургия», 1975. 584 с. с ил.

4. *Герчиков А. М., Адаян Г. А., Коцюбинский О. Ю.* Современные высокопроизводительиые методы старения чугуиных деталей металлообрабатывающих станков. М., «ЭНИМС», 1975. 38 с. с ил.

5. *Гудремон Э.* Специальиые стали. М., «Металлургия», 1967. 761 с. с ил.

6. *Каменичный И. С.* Пособие термисту инструментальиого цеха. Киев, «Техиіка», 1975. 176 с. с ил.

7. *Каменичный И. С.* Спутиик термиста. Киев, «Техніка», 1969. 232 с. с ил.

8. *Самохоцкий А. И., Парфеновская Н. Г.* Технология термической обработкн металлов. М., «Машиностроение», 1976. 311 с. с ил.

9. *Филинов С. А., Фиргер И. В.* Справочник термиста. М.—Л., «Машиностроеиие», 1975. 352 с. с ил.

10. *Чириков В. Т.* Повышение качества, надежности и долговечности подшипников за счет химико-термической обработки. М., НИИНАвтопром, 1967. 59 с.

11. *Шевелько П. С.* Усталость металлов в конструкциях самолетов. М., Воениздат, 1967. 110 с. с нл.

Содержание

Стр.

Предисловие 3
Контроль качества металлов 5
Определение твердости металлов 5
Определеиие дефектов иа поверхиости металлов 15
Определеиие химического состава стали по искре 19
Состав и структура сталей и сплавов 20
Диаграмма состояния сплавов железо — углерод 20
Структура стали 21
Химический состав сталей н сплавов 21
Способы и режимы термической обработки сталей 43
Нагрев под термическую обработку 43
Нагревательиые и охлаждающие среды, их свойства 44
Защита изделий от обезуглероживания и окалииообразования 49
Отжиг и нормализация 52
Способы закалкн 59
Отпуск 74
Режимы закалки и отпуска стали 75
Очистка изделий после термической обработки 75
Аитикоррозиониая обработка изделий после термической обработки 112

Брак при термической обработке 112
Химико-термическая обработка стали 114
Цементация 114
Азотирование 123
Низкотемпературное жидкостное азотирование деталей и инструмента 123
Цианирование 126
Борирование 128
Брак. Профилактика и способы исправления 129
Особенности технологии термической обработки некоторых инструментов и деталей машин 130
Инструмент 130
Детали машин 134
Рекомендации по назначению технических условий и выбору материала для термически обрабатываемых деталей 135
Общие положения 135
Зернистость стали 136
Закаливаемость и прокаливаемость стали . . . 138
Зависимость механических свойств улучшаемых сталей от их структурного состояния и размеров деталей 146
Усталостная прочность 156
Износостойкость 163
Определение категорий чугунных отливок, которые необходимо подвергать старению 168
Влияние химического состава свариваемых сталей на возникновение сварочных напряжений 170
Рекомендации по выбору марки стали и технологии обработки валов, шестерен, пружин . . . 172
Рекомендации по выбору материалов для изготовления деталей, работающих в условиях Крайнего Севера 178
Термическая обработка чугунов 182
Термическая обработка цветных металлов 187
Медь и ее сплавы 187
Никель и его сплавы 191
Магний и его сплавы 192
Алюминий и его сплавы 193
Титан и его сплавы 212

Справочные даиные о материалах и оборудоваиии, применяемых в термических цехах 215
Удельиый расход топлива и материалов 215
Измерение температуры 225
Список литературы 226

Иосиф Соломонович Каменичный

СПУТНИК ТЕРМИСТА

Редактор *П. Ф. Боброва*
Оформление художника *В. И. Романенкова*
Художественные редакторы
Е. А. Ильницкий, Г. П. Осмачко
Технический редактор *Н. А. Бондарчук*
Корректор *Т. П. Кравец*

ИБ № 648
Сдано в набор 8.08. 77. Подписано в печать 18.04. 78. БФ 04329. Формат 84×108$^{1}/_{64}$. Бумага типогр. № 2. Гари. лит. Печ. высокая. Усл. печ. л. 6,09. Уч.-изд. л. 7,85. Тираж 25 000 экз. Зак. 1518. Цена 50 коп.

Издательство «Техника», 252601, Киев, 1, ГСП, Крещатик, 5.

Киевская книжная фабрика «Жовтень» Республиканского производственного объединения «Полиграфкнига» Госкомиздата УССР, Киев, Артема, 23а.