Глава VI

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

1. Углеродистые стали

Углеродистые инструментальные стали по форме, размерам и предельным отклонениям от них поставляют в виде поковок квадратного и круглого сечения (ГОСТ 1133—71), горячекатаной квадратного и шестигранного сечения (ГОСТ 4693—77, ГОСТ 2591—71, ГОСТ 2879—69), полосовой кованой и горячекатаной (ГОСТ 4405—75, ГОСТ 103—76), калиброванной (ГОСТ 7417—75, ГОСТ 8559—75, ГОСТ 8560—78) и серебрянки (ГОСТ 14955—77). Химический состав и свойства углеродистой инструментальной стали регламентированы ГОСТ 1435—74. Инструмент, изготовленный из углеродистой стали, после термической обработки должен обладать высокой твердостью (HRC 60—65), повышенной износостойкостью, удовлетворительной прочностью и пластичностью.

Как правило, углеродистые стали применяют для изготовления малоответственных мерительных, режущих и штамповых инструментов (индивидуального и мелкосерийного призводства), а также технологической оснастки. Они дешевы, легко обрабатываются резанием, имеют малую твердость после отжига (HB165—175). В то же время углеродистые стали обладают малой прокаливаемостью, чувствительны к перегреву. Продолжительность выдержки углеродистых инструментальных сталей при температуре закалки составляет 50 с/мм при нагреве в печи и 35—40 с/мм при нагреве в соляной ванне. Длительность выдержки при отпуске составляет 1—2 ч плюс 1—1,5 мин на 1 мм для крупногабаритного инструмента. Химический состав углеродистых инструментальных сталей представлен в табл. VI.1, а температурный режим их ковки, отжига и показатели прокаливаемости — в табл. VI.2.

Таблица VI.1

Химический состав инструментальной углеродистой стали

Марка стали	Содержание элементов, %					
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu
У7, У7А	0,65—0,74	0,15—0,35	0,2—0,4	0,1—0,4	0,12—0,25	0,2—0,25
У8, У8А	0,75—0,84	0,15—0,35	0,2—0,35	0,1—0,4	0,12—0,25	0,2—0,25
У8Г, У8ГА	0,80—0,90	0,15—0,35	0,35—0,6	0,1—0,4	0,12—0,25	0,2—0,25
У9, У9А	0,85—0,94	0,15—0,35	0,15—0,35	0,1—0,4	0,12—0,25	0,2—0,25
У10, У10А	0,95—1,04	0,15—0,35	0,15—0,35	0,1—0,4	0,12—0,25	0,2—0,25
У11, У11А	1,05—1,14	0,15—0,35	0,15—0,35	0,1—0,4	0,12—0,25	0,2—0,25
У12, У12А	1,15—1,24	0,15—0,35	0,15—0,35	0,1—0,4	0,12—0,25	0,2—0,25
У13, У13А	1,25—1,35	0,15—0,35	0,15—0,35	0,1—0,4	0,12—0,25	0,2—0,25

Примечание. Содержание серы и фосфора не должно превышать в качественной стали — 0,03% S и 0,035% P; в высококачественной — 0,02% S и 0,03% P. Верхний предел содержания марганца у высококачественных сталей на 0,05% (для стали У7А — на 0,1%) ниже указанного в таблице.

Таблица VI.2

Критические точки, температурный режим ковки и отжига и показатели прокаливаемости инструментальной углеродистой стали

Марка стали	Критические точки, °C				Температурный интервал ковки, °C	Температура отжига, °C	Твердость HB после отжига, не более
	Ac_1	Ac_3 (Acm)	Ar_1	$M_н$			
У7, У7А	725	760	700	280	1125—860	730—750	187
У8, У8А	720	740	700	245	1125—750	730—750	187
У9, У9А	740	760	700	190	1125—750	740—750	192
У10, У10А	730	800	700	210	1100—750	740—750	197
У11, У11А	730	810	700	200	1100—750	750—780	207
У12, У12А	730	820	700	200	1100—750	750—780	207
У13, У13А	730	830	700	190	1100—750	750—780	217

Примечания: 1. Охлаждение после ковки на воздухе. 2. Охлаждение с температуры отжига со скоростью 50 град/ч до 560—650° C, далее на воздухе. 3. Критический диаметр при закалке, мм в воде 15—20, в масле 4—6; в селитре 3—5.

Таблица VI.3

Режимы окончательной термической обработки инструмента из углеродистой стали

Марка стали	Температура закалки, °С	Твердость HRC после закалки	Температура отпуска, °С	Твердость HRC после отпуска
У7, У7А	800—820	63—65	150—160 200—220	61—63 57—59
У8, У8А	780—800	63—65	150—160 200—220	61—63 57—59
У9, У9А	760—780	64—66	150—160 200—220	62—63 58—59
У10, У10А	760—780	64—66	150—160 200—220	62—63 58—59
У11, У11А	760—780	64—66	150—160 200—220	62—63 58—59
У12, У12А	760—780	64—66	150—160 200—220	62—63 58—59
У13, У13А	760—780	64—66	150—160 200—220	62—63 58—59

Примечание Охлаждающая среда при закалке — вода, при отпуске — воздух, температура подогрева под закалку — 600° С.

Таблица VI.4

Области применения инструментальных углеродистых сталей

Марка стали	Назначение
У7, У7А	Инструмент для обработки дерева — топоры, колуны, стамески, долота; пневматический небольших размеров — зубила, обжимки, бойки; слесарно-монтажный — молотки, кувалды, отвертки, бородки, комбинированные плоскогубцы, острогубцы, боковые кусачки; кузнечные штампы
У8, У8А	Инструмент для обработки дерева — фрезы, зенковки, цековки, топоры, стамески, долота, продольные и дисковые пилы; слесарно-монтажный — обжимки для заклепок, кернеры, бородки, отвертки, комбинированные плоскогубцы, острогубцы, боковые кусачки; накатные ролики, плиты и стержни для форм литья под давлением оловянносвинцовистых сплавов
У9, У9А	Инструмент для обработки дерева; слесарно-монтажный; калибры простой формы и пониженных классов точности
У10, У10А	Инструмент для обработки дерева — пилы ручные поперечные и столярные, пилы машинные столярные, сверла спиральные; штампы для холодной штамповки — вытяжные, обрезные и вырубные небольших размеров и без резких переходов по сечению; калибры простой формы и пониженных классов точности; накатные ролики, напильники, шаберы слесарные
У11, У11А	Холодно-высадочные пуансоны и штемпели мелких размеров, калибры простой формы и пониженных классов точности, метчики ручные, напильники, шаберы, штампы холодной штамповки малых размеров, инструмент для обработки дерева
У12, У12А	Метчики ручные, напильники, шаберы слесарные, штампы для холодной штамповки обрезные и вырубные небольших размеров и без резких переходов по сечению, холодновысадочные пуансоны и штемпели мелких размеров, калибры простой формы и пониженных классов точности
У13, У13А	Инструмент, который должен обладать повышенной износостойкостью при умеренных удельных нагрузках, — напильники, бритвенные ножи и лезвия, острый хирургический инструмент, шаберы, гравировальный инструмент

Примечание Из приведенных сталей изготавливают инструмент, не разогревающийся в процессе эксплуатации.

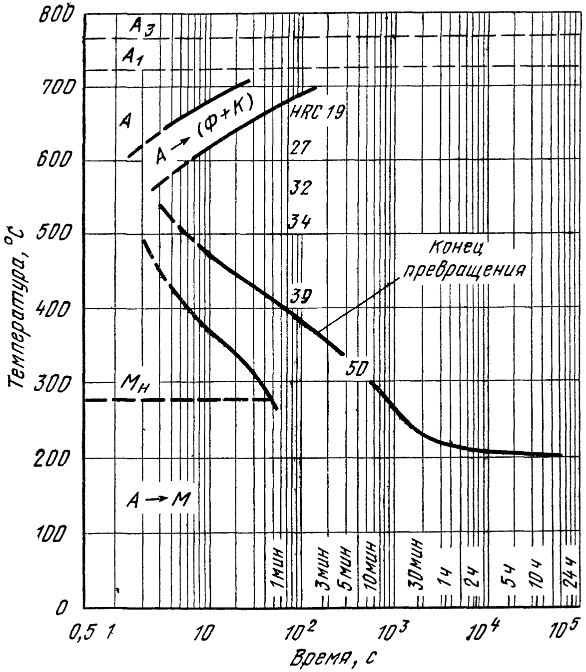

Рис. VI.1. Диаграмма изотермического превращения аустенита стали У7 (0,66% C; 0,19% Si; 0,39% Mn; 0,16% Cr; 0,19% Ni; A_1=720° C; A_3=760° C; $M_н$=285° C; $t_{ауст}$=810° C)

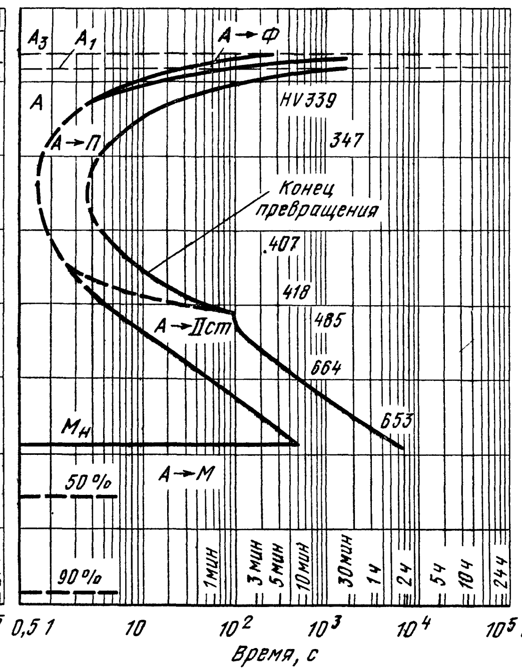

Рис. VI.2. Диаграмма изотермического превращения аустенита стали У8 (0,76% C; 0,22% Si; 0,29% Mn; 0,11% Cr; 0,07% Ni; A_1=720° C; A_3=740° C; $M_н$=210° C; $t_{ауст}$=810° C)

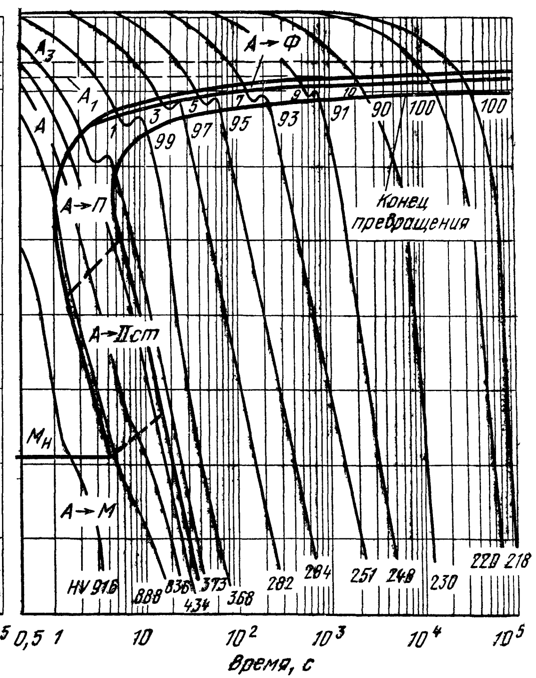

Рис. VI.3. Термокинетическая диаграмма распада переохлажденного аустенита стали У8 (0,76% C; 0,22% Si; 0,29% Mn; 0,11% Cr; 0,07% Ni; A_1=720° C; A_3=740° C; $M_н$=210° C; $t_{ауст}$=810° C)

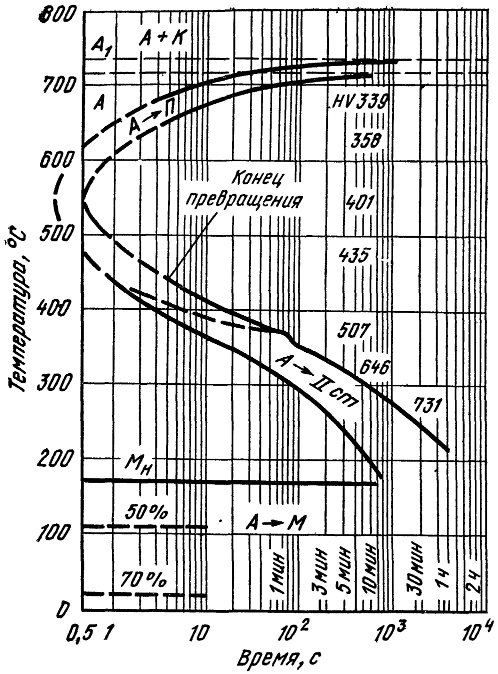

Рис. VI.4. Диаграмма изотермического превращения аустенита стали У10 (1,03% C; 0,17% Si; 0,22% Mn; 0,07% Cr; 0,1% Ni; A_1=725° C; $M_н$=175° C; $t_{ауст}$=790° C)

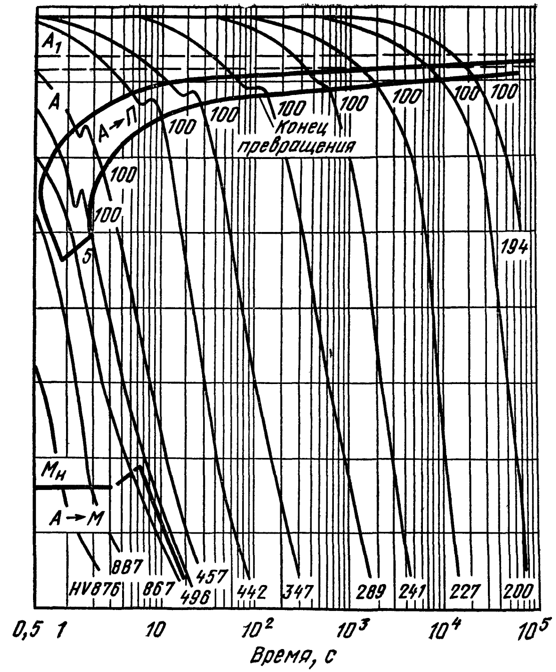

Рис. VI.5. Термокинетическая диаграмма распада переохлажденного аустенита стали У10 (1,03% C; 0,17% Si; 0,22% Mn; 0,07% Cr; 0,1% Ni; A_1=725° C; $M_н$=175° C; $t_{ауст}$=790° C)

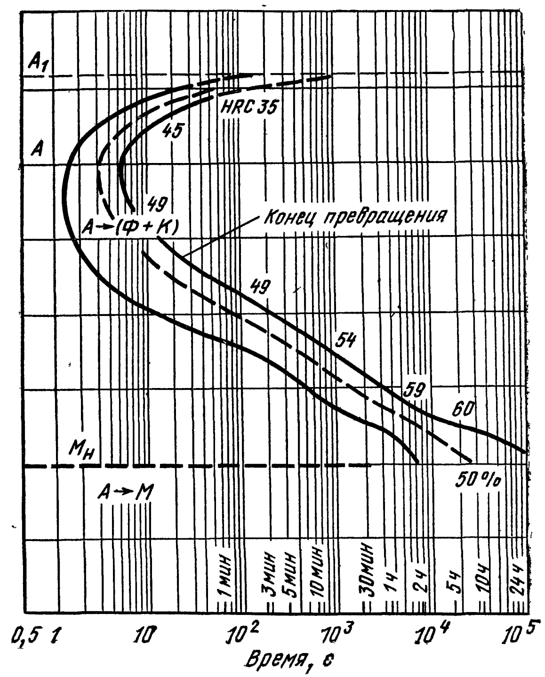

Рис. VI.6. Диаграмма изотермического превращения аустенита стали У12 (1,17% C; 0,18% Si; 0,36% Mn; 0,26% Cr; A_1=720° C; $M_н$=200° C; $t_{ауст}$=820° C)

Диаграммы изотермического превращения и термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита ряда марок углеродистой инструментальной стали приведены на рис. VI.1—VI.7. На приведенных здесь и ниже диаграммах А — аустенит, Ф — феррит, К — карбиды, П — перлит, М — мартенсит, $П_{ст}$ — промежуточное превращение (в бейнит); цифры у кривых показывают процент превращенного

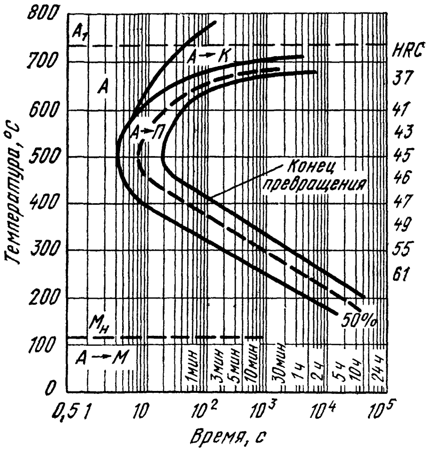

Рис. VI.7. Диаграмма изотермического превращения аустенита стали У13 (1,29% C; 0,27% Si; 0,2% Mn; 0,04% Cr; 0,09% Ni; A_1=730° C; $M_н$=130° C; $t_{ауст}$=1000° C)

аустенита в перлитной или бейнитной области; цифры внизу диаграмм (в ряде случаев и справа) показывают твердость после охлаждения по указанной кривой (или после изотермической выдержки при соответствующей температуре). В табл. VI.3 представлены режимы окончательной термической обработки углеродистых инструментальных сталей, а в табл. VI.4 — их основное назначение.

2. Низколегированные стали

Низколегированные инструментальные стали по форме, размерам и предельным отклонениям от них поставляют в виде поковок квадратного и круглого сечения (ГОСТ 1133—71), горячекатаной круглого сечения (ГОСТ 2590—71), горячекатаной квадратного сечения (ГОСТ 2591—71, ГОСТ 4693—77), полосовой (ГОСТ 4405—75), калиброванной (ГОСТ 7417—75, ГОСТ 8559—75, ГОСТ 8560—78) и серебрянки (ГОСТ 14955—77). Химический состав и свойства низколегированной инструментальной стали регламентированы ГОСТ 5950—73. Инструмент, изготовленный из этих сталей, после термической обработки должен обладать высокой твердостью, повышенной износостойкостью, удовлетворительными прочностью и пластичностью.

Различают две группы низколегированных инструментальных сталей. К первой группе относятся стали неглубокой прокаливаемости (7ХФ, 8ХФ, 9ХФ, 11ХФ, 13Х, ХВ4, В2Ф). Они содержат небольшое количество хрома, ванадия и вольфрама, что делает их более устойчивыми против перегрева и более теплостойкими, чем углеродистые стали. Большинство этих сталей используют при изготовлении инструментов, подвергаемых местной закалке (пил, зубил, штемпелей, обрезных матриц и пуансонов, ножей для холодной резки металла и др.). Ко второй группе относят стали глубокой прокаливаемости (9Х1, Х, 9ХС, ХГС, 12Х1, 9ХВГ, ХВГ, ХВСГ). Они содержат большее количество хрома; помимо хрома, в отдельные марки входят марганец, кремний, вольфрам. Это повышает прокаливаемость, увеличивает дисперсность карбидов, уменьшает чувствительность к перегреву и позволяет использовать их для изготовления режущего инструмента (метчики, плашки, протяжки, развертки, фрезы) более ответственного назначения, чем углеродистые и низкопрокаливающиеся стали.

Закалку сталей неглубокой прокаливаемости следует производить в резких охлаждающих средах (водных растворах солей и щелочей). Для инструмента сложной формы иногда применяют изотермическую или ступенчатую закалку. Длительность выдержки при температуре закалки составляет 50—70 с/мм при нагреве в печи и 35 — 40 с/мм при нагреве в соляных ваннах. Продолжительность отпуска обычно составляет 1—2 ч плюс 1—1,5 мин на 1 мм крупногабаритного инструмента.

Химический состав низколегированных инструментальных сталей представлен в табл. VI.5, а температурный режим их ковки, отжига и показатели прокаливаемости — в табл. VI.6.

Диаграммы изотермического превращения и термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита ряда марок стали этой группы приведены на рис. VI.8—VI.13. В табл. VI.7 представлены режимы окончательной термической обработки низколегированных инструментальных сталей, а в табл. VI.8 — их основное назначение.

3. Стали для штампов холодного деформирования

Стали для штампов холодного деформирования по форме, размерам и предельным отклонениям от них поставляют в виде поковок квадратного и круглого сечения (ГОСТ 1133—71), горячекатаной круглого сечения (ГОСТ 2590—71), горячекатаной квадратного сечения (ГОСТ 2591—71, ГОСТ 4693—77), полосовой (ГОСТ 4405—75), калиброванной (ГОСТ 7417—75, ГОСТ 8559—75, ГОСТ 8560—78) и серебрянки (ГОСТ 14955—77). Химический состав и свойства штамповых сталей для холодного деформирования регламентированы ГОСТ 5950—73 и техническими условиями. Для инструмента особо ответственного назначения (крупногабаритный инструмент сложной формы, пуансоны и матрицы объемного деформирования для работы при высоких удельных нагрузках и др.) допуска-

Таблица VI 5

Химический состав низколегированных инструментальных сталей

Марка стали	Содержание элементов, %							
	C	Si	Mn	Cr	W	V	Ni	Cu
							не более	
Стали неглубокой прокаливаемости								
7ХФ	0,63—0,73	0,15—0,35	0,3—0,6	0,4—0,7	—	0,15—0,3	0,35	—
8ХФ	0,7—0,8	0,15—0,35	0,15—0,4	0,4—0,7	—	0,15—0,3	0,35	0,3
9ХФ	0,8—0,9	0,15—0,35	0,3—0,6	0,4—0,7	—	0,15—0,3	0,35	—
11ХФ	1,05—1,15	0,15—0,35	0,4—0,7	0,4—0,7	—	0,15—0,3	0,35	—
13Х	1,25—1,4	0,15—0,35	0,3—0,6	0,4—0,7	—	—	0,35	—
ХВ4	1,25—1,45	0,15—0,35	0,15—0,4	0,4—0,7	3,5—4,3	0,15—0,3	0,35	0,3
В2Ф	1,05—1,2	0,15—0,35	0,2—0,5	0,2—0,4	1,6—2,0	0,2—0,3	0,2	0,2
Стали глубокой прокаливаемости								
9Х1	0,8—0,95	0,25—0,45	0,15—0,4	1,4—1,70	—	—	0,35	0,3
Х	0,95—1,1	0,15—0,35	0,15—0,4	1,3—1,65	—	—	0,25	—
9ХС	0,85—0,95	1,2—1,60	0,3—0,6	0,95—1,25	—	—	—	—
ХГС	0,95—1,05	0,4—0,70	0,85—1,25	1,3—1,65	—	—	—	—
12Х1	1,15—1,25	0,15—0,35	0,3—0,6	1,3—1,65	—	—	—	—
9ХВГ	0,85—0,95	0,15—0,35	0,9—1,2	0,5—0,80	0,5—0,8	—	—	—
ХВГ	0,9—1,05	0,15—0,35	0,8—1,1	0,9—1,20	1,2—1,6	—	0,25	0,3
ХВСГ	0,95—1,05	0,65—1,0	0,6—0,9	0,6—1,10	0,5—0,8	0,05—0,15	0,25	0,3

Таблица VI.6

Критические точки, температурный режим ковки и отжига и показатели прокаливаемости низколегированных инструментальных сталей

Марка стали	Критические точки, °C						Температурный интервал ковки, °C	Охлаждение после ковки	Температура отжига, °C*	Твердость HB после отжига, не более	Критический диаметр, мм, при закалке в		
	Ac_1	Ac_3 (Acm)	Ar_3 (Arm)	Ar_1	$M_н$	$M_к$					воде	масле	селитре
7ХФ	770	780	740	710	—	—	1160—850	На воздухе	780—800	229	20—25	8—15	5—8
8ХФ	740	750	—	700	215	—	1150—850	То же	780—800	255	15—25	5—8	4—7
9ХФ	700	—	—	—	215	—	1180—800	» »	760—790	255	15—20	5—8	4—7
11ХФ	—	—	—	—	195	—	1100—800	В колодцах	750—790	229	15—25	7—10	6—9
13Х	760	780	740	710	—	—	1100—800	То же	750—790	241	20—25	10—15	8—14
ХВ4	—	—	—	—	—	—	1125—850	» »	800—820	285	—	—	—
В2Ф	750	800	690	650	—	—	1200—900	» »	780—800	210	—	—	—
9Х1	730	860	—	700	270	—	1150—850	» »	800—820	229	20—40	—	—
Х	745	900	—	700	240	—	1150—800	» »	770—800	229	28—54	8—35	8—27
9ХС	770	870	—	730	160	—30	1140—800	» »	790—810	241	42—70	12—35	12—25
ХГС	755	900	—	700	200	—	1100—850	» »	790—810	241	72—100	46—67	35—60
12Х1	750	890	—	—	245	—40	1120—850	» »	770—800	241	—	—	—
9ХВГ	750	900	—	—	205	—	1120—850	На воздухе	780—800	241	—	—	—
ХВГ	750	940	—	710	210	—50	1150—850	В колодцах	780—800	255	—	—	—
ХВСГ	770	785	730	720	200	—20	1140—850	То же	790—810	241	—	—	—

* Охлаждение с температуры отжига со скоростью 50 град/ч до 640—700° С, выдержка 2—3 ч, охлаждение до 550° С со скоростью 50 град/ч и далее на воздухе

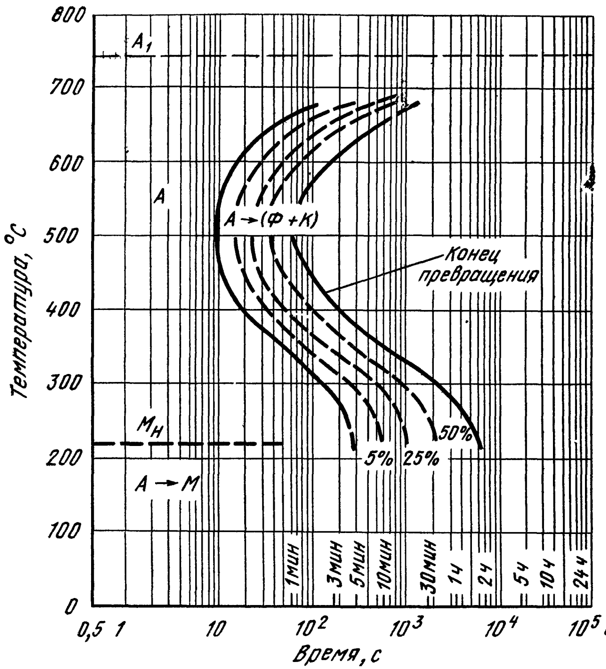

Рис. VI.8. Диаграмма изотермического превращения аустенита стали 8ХФ (0,83% С; 0,26% Si; 0,4% Mn; 0,63% Cr; 0,17% V; $A_1 = 743°$ С; $M_н = 215°$ С; $t_{аус т} = 840°$ С)

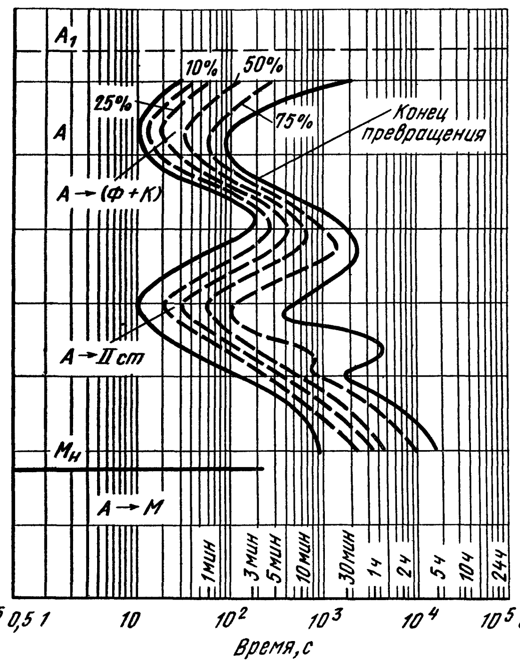

Рис. VI.9. Диаграмма изотермического превращения аустенита стали 9ХФ (0,87% С; 0,28% Si; 0,38% Mn; 1,63% Cr; 0,18% V; $A_1 = 740°$ С; $M_н = 185°$ С; $t_{ауст} = 920°$ С)

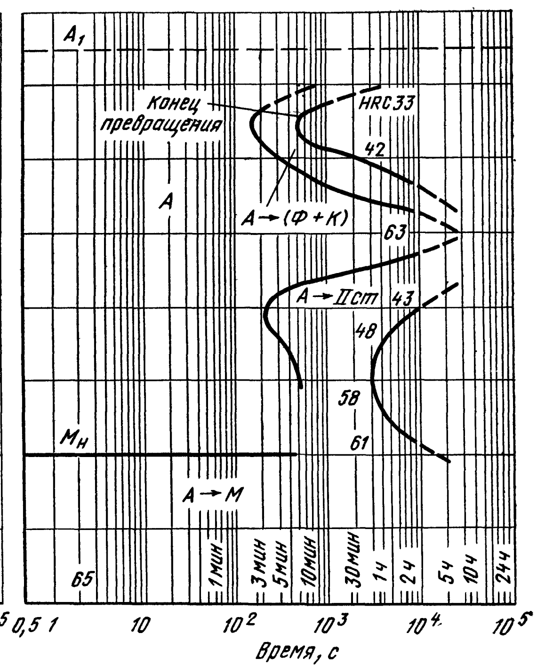

Рис VI 10 Диаграмма изотермического превращения аустенита стали ХВ4 (0,85% С; 0,26% Si; 0,41% Mn; 1,39% Cr; 3,23% W; $A_1 = 760°$ С; $M_н = 205°$ С; $t_{ауст} = 910°$ С)

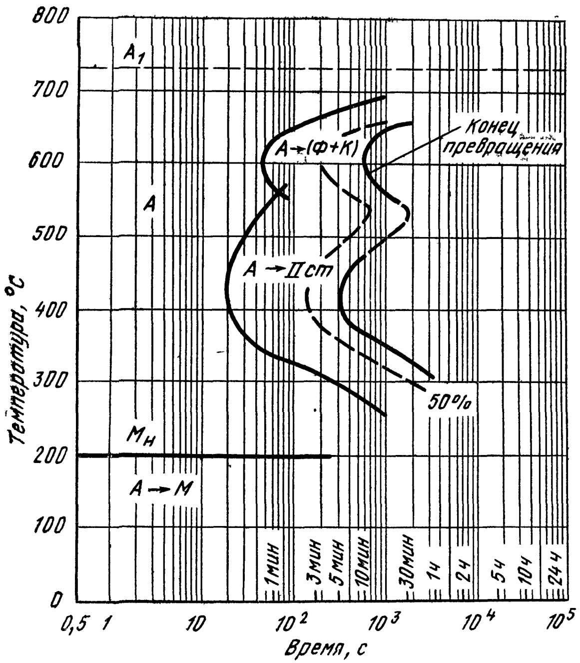

Рис. VI.11. Диаграмма изотермического превращения аустенита стали 9ХВГ (0,93% C; 0,23% Si; 1,17% Mn; 0,54% Cr; 0,77% W; 0,14% V; A_1=730° C; $M_н$=205° C; $t_{ауст}$=810° C)

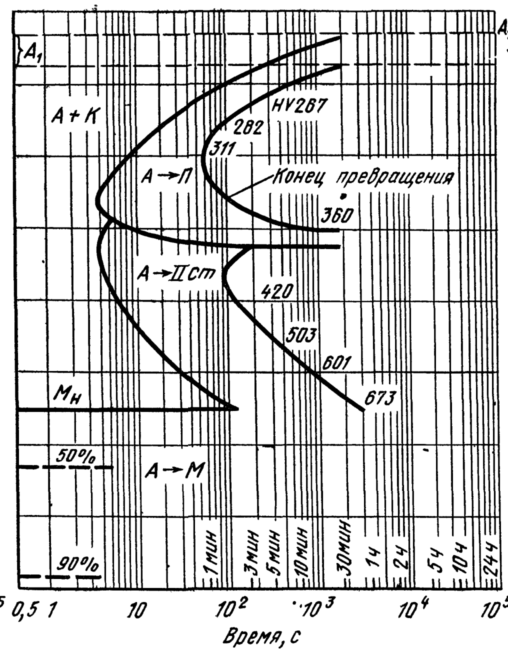

Рис. VI.12. Диаграмма изотермического превращения аустенита стали ХВГ (1,03% C; 0,28% Si; 0,97% Mn; 1,05% Cr; 0,13% Ni; 1,15% W; $M_н$= =245° C; $t_{ауст}$ =815° C)

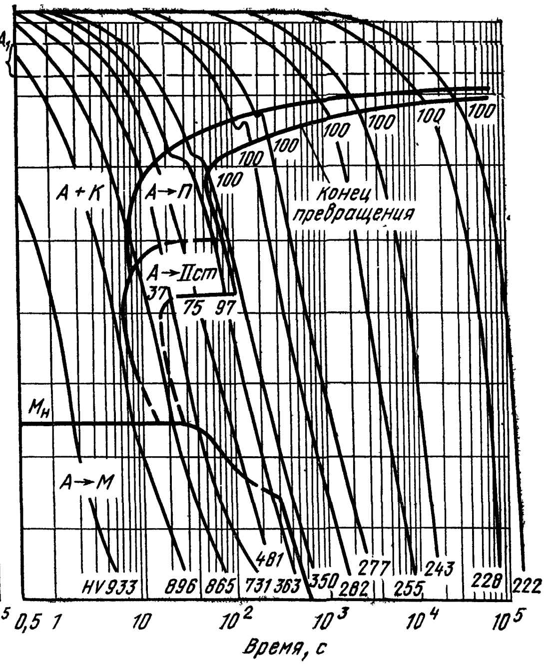

Рис. VI.13. Термокинетическая диаграмма распада переохлажденного аустенита стали ХВГ (1,03% C; 0,28% Si; 0,97% Mn; 1,05% Cr; 0,13% Ni; 1,15% W; $M_н$=245° C; $t_{ауст}$=815° C)

Таблица VI.7

Режимы окончательной термической обработки инструмента из низколегированных сталей

Марка стали	Температура закалки, °C	Охлаждающая среда	Твердость HRC после закалки	Температура отпуска, °C	Твердость HRC после отпуска
7ХФ	820—840	Масло	62—64	200—220	58—60
	800—820	Вода	62—64	200—220	58—60
8ХФ	810—820	»	58—59	200—220	57—58
	830—860	»	63—65	200—220	60—62
9ХФ	850—880	Масло	61—64	200—250	58—60
	820—840	Вода	61—64	200—250	55—58
11ХФ	810—830	»	62—65	150—170	62—65
	840—860	Масло	62—64	150—170	62—65
13Х	780—820	Вода	63—65	150—170	62—65
	810—830	Масло	62—64	150—170	62—65
ХВ4	830—850	»	63—65	140—170	62—67
	820—840	Вода	65—67	140—170	62—67
В2Ф	780—840	Масло	66—67	150—180	62—65
	780—840	Вода	66—67	150—180	62—65
9Х1	820—850	Масло	61—63	160—180	59—61
Х	840—860	»	62—63	130—150	62—65
				170—210	58—60
9ХС	840—860	»	62—63	160—180	58—62
ХГС	820—860	»	62—64	150—160	61—63
12Х1	850—870	»	63—65	120—130	62—65
9ХВГ	820—840	»	64—66	160—180	≥61
				170—230	60—62
				230—275	56—60
ХВГ	830—850	»	62—63	150—200	62—63
				200—300	58—62
ХВСГ	840—860	»	62—63	140—160	60—62

Примечание. Температура подогрева под закалку 650° С, охлаждение с температуры отпуска на воздухе.

Таблица VI.8

Области применения низколегированных инструментальных сталей

Марка стали	Назначение
1	2
7ХФ	Деревообрабатывающий инструмент — топоры, долота, зубила; инструмент для чеканки; рамные, круглые и ленточные пилы со сплющенными и разведенными зубьями
8ХФ	Штемпели, ножи для холодной резки металла, обрезные матрицы и пуансоны для обрезки заусенцев, кернеры
9ХФ	Рамные, ленточные, круглые, строгальные пилы; штемпели; ножи для холодной резки; обрезные матрицы и пуансоны для холодной обрезки заусенцев; кернеры
11ХФ	Метчики и другие режущие инструменты диаметром до 30 мм, закаливаемые охлаждением в горячих средах; штампы холодной штамповки, пуансоны, калибры, хирургический инструмент
13Х	Взамен углеродистой для изготовления мелких инструментов (диаметром 1—15 мм); это дает возможность закаливать инструменты в масле. А также для изготовления бритвенных ножей и лезвий, острых хирургических инструментов, гравировальных инструментов, шаберов
ХВ4	Прошивные пуансоны, инструмент для чистового резания твердых материалов (отбеленный чугун, валки с закаленной поверхностью) с небольшой скоростью, гравировальный инструмент
В2Ф	Ленточные пилы по металлу и ножовочные полотна
9Х1	Валки холодной прокатки, валки дрессировочных станов, клейма, пробойники, холодновысадочные матрицы и пуансоны, деревообрабатывающий инструмент

Марка стали	Назначение
1	2
Х	Зубила, используемые при насечке напильников; очень твердые кулачки, эксцентрики и пальцы; гладкие цилиндрические калибры и калиберные кольца; токарные, строгальные и долбежные резцы
9ХС	Деревообрабатывающий инструмент, сверла, развертки, метчики, плашки, гребенки, фрезы, машинные штемпели, клейма для холодного клеймения
ХГС	Холодновысадочные матрицы и пуансоны, вырубные штампы небольшого размера (диаметром или толщиной до 70 мм)
12Х1	Измерительные инструменты — концевые и угловые меры длины, калибры, шаблоны
9ХВГ	Резьбовые калибры, лекала сложной формы, сложные точные штампы для холодных работ, которые не должны подвергаться значительным объемным изменениям и короблению
ХВГ	Измерительный и режущий инструмент, повышенное коробление которого при закалке недопустимо: резьбовые калибры, протяжки, длинные метчики и развертки, плашки и др.; холодновысадочные матрицы и пуансоны; технологическая оснастка; деревообрабатывающий инструмент; ножи для бумажной промышленности
ХВСГ	Инструменты, предназначенные для ручной работы — плашки, сверла, развертки, гребенки, штемпели, клейма; холодновысадочные матрицы и пуансоны; технологическая оснастка; деревообрабатывающий инструмент; ножи для бумажной промышленности

ется поставка сталей после электрошлакового переплава.

Стали для штампов холодного деформирования должны обладать повышенной износостойкостью, минимально необходимыми (для данного конкретного случая) твердостью, сопротивлением малым пластическим деформациям и теплостойкостью, удовлетворительными прочностью и пластичностью, хорошими технологическими свойствами (шлифуемостью, устойчивостью против перегрева, малой деформируемостью при термической обработке и др.).

Указанные свойства в той или иной степени оказывают влияние на работоспособность сталей для штампов и эффективность применения отдельных марок, однако в зависимости от видов операций, свойств подвергаемых деформированию материалов, основных параметров оборудования и других факторов роль каждого из этих показателей может меняться. Так, например, срок службы вырубных (просечных) штампов, как правило, лимитируется износостойкостью и конструктивной прочностью, тогда как для тяжелонагруженных пуансонов холодного прессования большее значение имеют сопротивление малым пластическим деформациям и теплостойкость. Для высокоточных инструментов сложной конфигурации важными свойствами являются шлифуемость и деформируемость при термической обработке. Повышение того или иного свойства, достигаемое за счет изменения химического состава стали и режима ее термической обработки, может сопровождаться снижением других показателей.

Поэтому для большинства сталей для штампов холодного деформирования могут быть выделены тесно связанные с особенностями их легирования характеристики, определяющие преимущественные области применения тех или иных марок. В соответствии с этим Л. А. Позняк рассматриваемые материалы делит на три подгруппы: высокохромистые стали повышенной износостойкости (Х12, Х12ВМ, Х12М, Х12Ф1, Х6ВФ и 8Х6НФТ); высокопрочные комплекснолегированные стали повышенной теплостойкости (8Х4В3М3Ф2, 8Х4В2С2МФ); экономно легированные стали с повышенной ударной вязкостью (7ХГ2ВМ, 7Х3ВМФС).

В связи с низкой теплопроводностью рассматриваемых сталей при нагреве под закалку рекомендуется одно- или двухступенчатый подогрев. Температура закалки должна обеспечить получение действительного зерна аустенита не крупнее балла 11—9. Продолжительность выдержки при аустенитизации составляет 50—70 с/мм при печном нагреве и 35—40 с/мм при нагреве в ванне. Длительность отпуска составляет 1,5—2,5 ч.

Химический состав сталей для штампов холодного деформирования представлен в табл. VI.9, а температурный режим их ковки и отжига — в табл. VI 10.

Диаграммы изотермического превращения и термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита некоторых из этих сталей приведены на рис. VI.14—VI 18 Влияние температуры отпуска на твердость видно из рис. VI.19, VI.20. В табл. VI 11 представлены режимы окончательной термической обработки сталей для штампов холодного деформирования, а в табл. VI 12— их основное назначение.

Таблица VI.9

Химический состав сталей для штампов холодного деформирования

Марка стали	Содержание элементов, %							
	C	Si	Mn	Cr	W	V	Mo	другие элементы
X12	2—2,2	0,15—0,35	0,15—0,4	11,5—13	—	—	—	—
Х12ВМ	2—2,2	0,2—0,4	0,15—0,4	11,0—12,5	0,5—0,8	0,15—0,3	0,6—0,9	—
Х12М	1,45—1,65	0,15—0,35	0,15—0,4	11,0—12,5	—	0,15—0,3	0,4—0,6	—
Х12Ф1	1,25—1,45	0,15—0,35	0,15—0,4	11,0—12,5	—	0,7—0,9	—	—
Х6ВФ	1,05—1,15	0,15—0,35	0,15—0,4	5,5—6,5	1,1—1,5	0,5—0,8	—	—
8Х6НФТ	0,8—0,9	0,15—0,35	0,15—0,4	5,0—6,0	—	0,3—0,5	—	0,9—1,3Ni 0,05—0,15Ti
9Х5ВФ	0,85—1,0	0,15—0,4	0,15—0,4	4,5—5,5	0,8—1,2	0,15—0,3	—	—
Х6Ф4М* (ЭП770)	1,7—1,85	0,15—0,4	0,15—0,4	5,7—6,5	—	3,5—4,0	0,5—1,0	—
8Х4В2С2МФ* (ЭП761)	0,8—0,9	1,6—2,0	0,25—0,5	4,2—4,9	1,8—2,3	1,0—1,4	0,8—1,0	—
8Х4В3М3Ф2 (ЭП570)	0,75—0,85	0,15—0,4	0,15—0,4	3,5—4,5	2,5—3,2	1,9—2,5	2,5—3,0	—
7Х3ВМФС* (ДИ-18)	0,65—0,73	0,8—1,1	0,3—0,6	2,5—3,2	1,3—1,7	0,8—1,1	0,5—0,8	—
7ХГ2ВМ	0,68—0,76	0,2—0,4	1,8—2,3	1,5—1,8	0,5—0,9	0,1—0,25	0,5—0,8	—
6Х6В3МФС (ЭП569)	0,5—0,6	0,6—0,9	0,15—0,4	5,5—6,5	2,5—3,2	0,5—0,8	0,6—0,9	—

* Поставляются по техническим условиям.

Таблица VI.10

Критические точки, температурные интервалы ковки и режим отжига сталей для штампов холодного деформирования

Марка стали	Критические точки, °С					Температурный интервал ковки, °С*	Отжиг**			Твердость НВ после отжига
	Ac_1	Acm	Ar_1	Arm	$M_н$		температура нагрева, °С	температура изотермической выдержки, °С	продолжительность выдержки, ч	
Х12	810	835	755	770	180	1100—850	830—850	720—740	3—4	255
Х12ВМ	815	—	—	—	225	1100—850	830—850	700—720	3—4	255
Х12М	830	855	750	785	230	1140—850	850—870	700—720	3—4	255
Х12Ф1	810	860	760	780	225	1140—850	850—870	700—720	3—4	255
Х6ВФ	815	845	625	775	150	1100—850	830—850	700—720	3—4	241
8Х6НФТ	730	790	—	755	180	1140—850	800—820	680—690	3—4	241
9Х5ВФ	815	830	755	775	240	1140—850	820—840	700—720	2—3	241
Х6Ф4М	820	860	750	800	260	1140—850	860—880	680—700	2—3	241
8Х4В2С2МФ	840	880	785	820	150	1150—850	880—900	720—740	3—4	229
8Х4В3М3Ф2	865	895	720	770	195	1180—850	840—860	700—720	3—4	255
7Х3ВМФС	785	840	675	730	220	1170—850	840—860	720—740	3—4	229
7ХГ2ВМ	765	825	—	—	160	1160—800	770—790	—	—	255
6Х6В3МФС	875	905	755	790	250	1100—850	860—880	760—780	2—3	255

* Охлаждение после ковки замедленное, в колодцах.

** Скорость охлаждения до температуры изотермической выдержки 30—40 град/ч; скорость последующего охлаждения до 550° С — 50 град/ч, далее на воздухе.

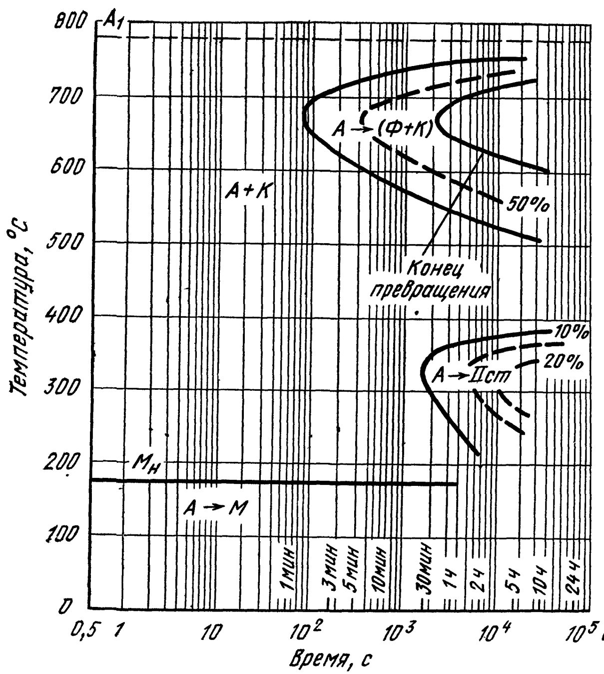

Рис. VI.14. Диаграмма изотермического превращения аустенита стали Х12 (2,02% С; 0,52% Si; 0,39% Mn; 12,39% Cr; A_1=785° С; $М_н$=180° С; $t_{\text{ауст}}$=970° С)

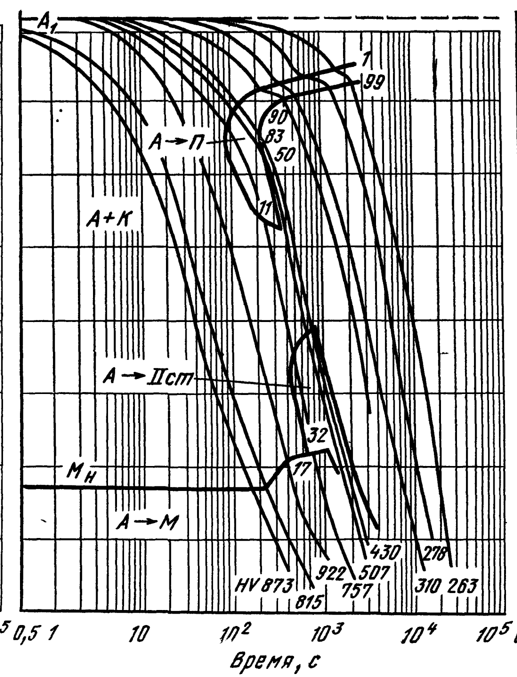

Рис. VI.15. Термокинетическая диаграмма распада переохлажденного аустенита стали Х12 (1,98% С; 0,41% Si; 0,28% Mn; 12,18% Cr; A_1=805° С; $М_н$=180° С; $t_{\text{ауст}}$=970° С)

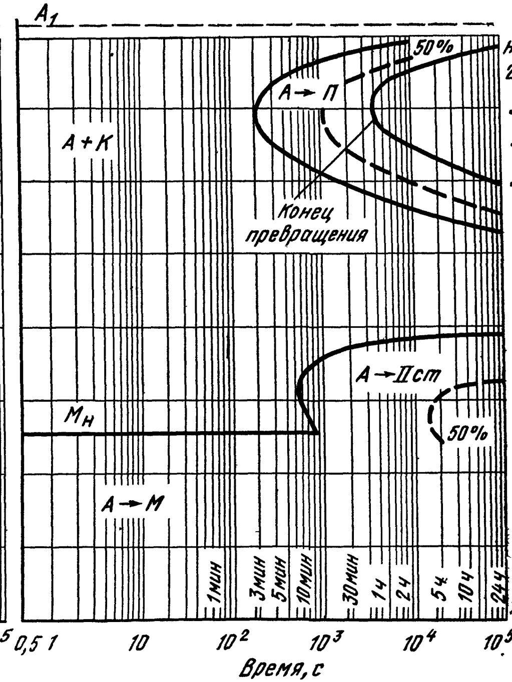

Рис. VI.16. Диаграмма изотермического превращения аустенита стали Х12ВМ (1,88% С; 11,7% Cr; 0,35% Ni; 0,61% Mo; 0,63% W; 0,09% V; A_1=815° С; $М_н$=250° С; $t_{\text{ауст}}$=950° С)

Таблица VI.11

Режимы окончательной термической обработки сталей для штампов холодного деформирования

Марка стали	Температура подогрева, °C	Температура закалки, °C	Охлаждающая среда	Твердость HRC после закалки	Температура отпуска, °C*1	Твердость HRC после отпуска
Х12	650—700	950—980	Масло	63—65	180—200	60—62
					320—350	57—58
Х12ВМ	650—700	1000—1030	»	63—65	180—200	60—62
					350—400	57—59
Х12М	650—700	1000—1030	»	63—65	190—210	60—62
			Селитра	63—65	320—350	57—58
Х12Ф1	650—670	1000—1050	Масло	62—64	180—200	60—62
			Селитра	62—64	400—420	57—58
Х6ВФ	650—700	980—1000	Масло	63—65	150—170	62—63
			Селитра	63—65	280—300	56—58
8Х6НФТ	650—700	950—1000	Масло	≥58	280—300	56—57
					400—420	55—56
9Х5ВФ	650—700	950—1000	»	≥59	280—300	57—58
					400—420	55—56
Х6Ф4М	650—700	980—1020	»	63—65	160—180	61—62
		1140—1160	»	61—62	540—560*2	62—64
8Х4В2С2МФ	700—750	1060—1090	»	62—64	530—540*2	62—63
8Х3В3М3Ф2	860—880	1155—1175	»	60—62	550—560*2	60—61
7Х3ВМФС	700—750	1000—1020	»	63—64	200—220	60—62
					300—320	58—59
7ХГ2ВМ	650—700	850—860	»	61—62	140—160	59—60
			Воздух	61—62	190—210	57—58
6Х6В3МФС	800—850	1050—1070	Селитра	60—62	540—560*3	58—60
			Масло	60—62	480—500*4	58—60

*1 Длительность отпуска 1,5 ч, охлаждающая среда — воздух.
*2 Трехкратный отпуск по 1 ч каждый.
*3 Температура первого отпуска.
*4 Температура второго отпуска.

Таблица VI.12

Области применения сталей для штампов холодного деформирования

Марка стали	Назначение
1	2
Х12, Х12ВМ	Матрицы и пуансоны штампов с высокой устойчивостью против истирания, вырубных и просечных, а также гибочных и формовочных; волочильные доски, глазки для калибрования прутков
Х12М	Накатные ролики, волочильные доски и волоки, глазки для калибрования металлов, матрицы и пуансоны вырубных штампов, матрицы и пуансоны холодного выдавливания, работающие при давлениях до 140—160 кгс/мм²
Х12Ф1	Профилировочные ролики сложной формы, эталонные шестерни, накатные плашки, волоки, секции кузовных штампов сложных форм, сложные дыропрошивочные матрицы для формовки листового металла, матрицы и пуансоны вырубных и просечных штампов для штамповки активной жести электрических машин, матрицы и пуансоны холодного выдавливания, работающие при давлениях до 140—160 кгс/мм²
Х6ВФ	Резьбонакатные инструменты (ролики, плашки); матрицы и пуансоны, работающие при давлениях до 140—160 кгс/мм²; ручные ножовочные полотна; деревообрабатывающий фрезерный инструмент
8Х6НФТ, 9Х5ВФ	Деревообрабатывающий инструмент — ножи для фрезерования древесины, строгальные пилы, цельные фрезы, а также тонколезвийные инструменты
Х6Ф4М	Прессформы для прессования металлических порошков; матрицы и пуансоны вырубных штампов для обработки труднодеформируемых материалов, в том числе электротехнических сталей

Марка стали	Назначение
1	2
8Х4В2С2МФ	Матрицы и пуансоны штампов холодного объемного деформирования, работающих при давлениях до 220—230 кгс/мм²; резьбонакатные и шлиценакатные ролики; деревообрабатывающий инструмент
8Х4В3М3Ф2	Резьбонакатные и шлиценакатные ролики холодной накатки; шарошки; деревообрабатывающий инструмент; ножи труборазрубочных прессов, гильотинных и других ножниц; матрицы и пуансоны штампов холодного объемного деформирования, работающие при давлениях до 200—210 кгс/мм²
7Х3ВМФС	Вырубные штампы, работающие при повышенных динамических нагрузках; накатные ролики; матрицы и пуансоны штампов холодного объемного деформирования, работающие при давлениях до 140—160 кгс/мм²
7ХГ2ВМ	Штампы холодного объемного деформирования, используемые при производстве изделий из цветных сплавов и малопрочных конструкционных сталей; матрицы и пуансоны вырубных штампов сложной конфигурации
6Х6В3МФС	Резьбонакатные, зубонакатные, шлиценакатные и калибровочные ролики; ножи гильотинных ножниц; труборазрубочные ножи; ножи для рубки древесины; шарошки

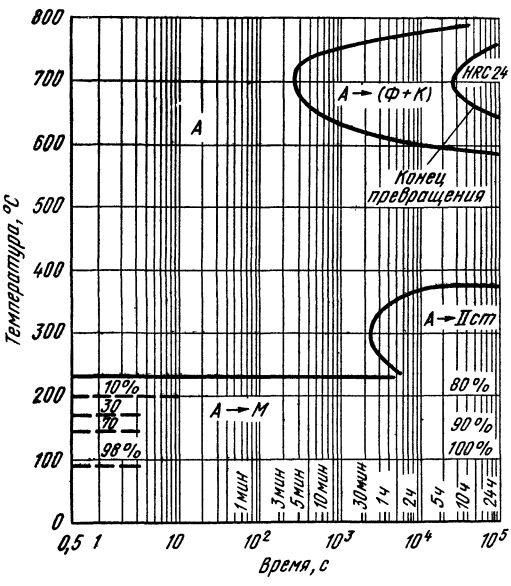

Рис. VI.17. Диаграмма изотермического превращения аустенита стали Х12М (1,68% С; 0,45% Si; 0,27% Mn; 11,34% Cr; 0,53% Mo; 0,24% V; $M_н$=230° С; $t_{ауст}$ = =980° С)

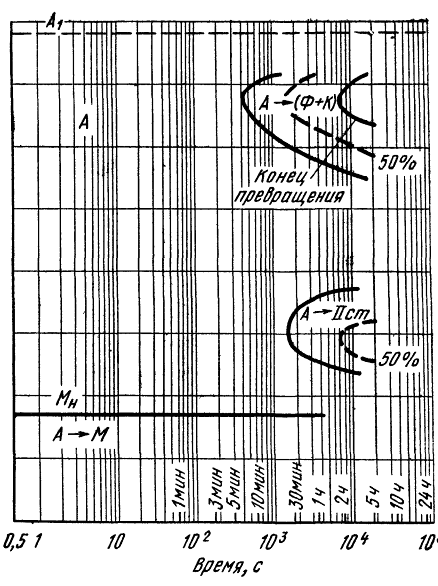

Рис. VI.18. Диаграмма изотермического превращения аустенита стали Х6ВФ (0,99% С; 0,32% Si; 0,82% Mn; 5,2% Cr; 1,04% W; 0,23% V; A_1=790° С; $M_н$=180° С; $t_{ауст}$ =945° С)

4. Стали для штампов горячего деформирования

Требования к штамповым материалам

Стали для штампов горячего деформирования по форме, размерам и предельным отклонениям от них поставляют в виде прутков (штанг) круглого (ГОСТ 2590—71, ГОСТ 4693—77, ГОСТ 1133—71) и квадратного (ГОСТ 1133—71) сечений (до 250 мм). Полосы поставляют по ГОСТ 4405—75; индивидуальные заготовки (кубики) — по ГОСТ 7831—78. Химический состав и свойства сталей для штампов регламентированы ГОСТ 5950—73 и техническими условиями. В соответствии с ГОСТ 5950—73 и техническими условиями стали поставляют в термически обработанном состоянии (после отжига или высокого отпуска). Помимо металла, полученного открытой (мартеновской и электродуговой) выплавкой, для штампов горячего деформирования используют стали после электро-

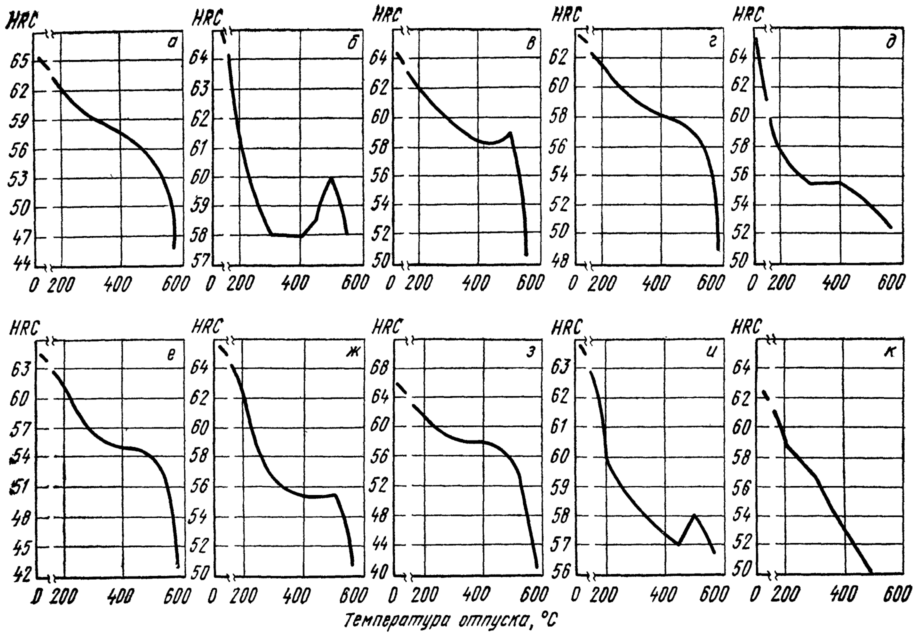

Рис. VI.19. Влияние температуры отпуска на твердость сталей для штампов холодного деформирования

а — Х12 ($t_{зак}$=950÷980° С); *б* — Х12ВМ ($t_{зак}$=1020° С); *в* — Х12М ($t_{зак}$=1000÷1030° С); *г* — Х12Ф1 ($t_{зак}$=1030÷1050° С); *д* — Х6ВФ ($t_{зак}$=1000° С); *е* — 8Х6НФТ ($t_{зак}$=1000° С); *ж* — 9Х5ВФ ($t_{зак}$=1000° С); *з* — Х6Ф4М ($t_{зак}$=1000° С); *и* — 7Х3ВМФС ($t_{зак}$=1000—1020° С); *к* — 7ХГ2ВМ ($t_{зак}$=860° С)

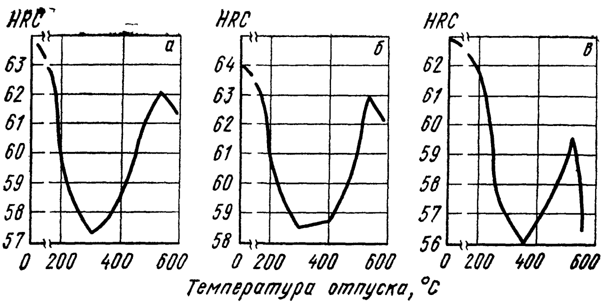

Рис. VI 20. Зависимость твердости от температуры отпуска (в течение 1,5 ч при 200—480° С, трехкратный отпуск при 500—580° С по 1 ч) для стали:

а — 8Х4В2С2МФ ($t_{зак}$=1075° С); *б* — 8Х4В3М3Ф2 ($t_{зак}$=1175° С), *в* — 6Х6В3МФС ($t_{зак}$=1060° С)

шлакового переплава. Стойкость штампов, изготовленных из сталей после электрошлакового переплава, на 30—50% выше, чем стойкость штампов из стали, полученной открытой выплавкой.

Стали для штампов горячего деформирования должны обладать определенным комплексом эксплуатационных и технологических свойств; помимо этого, к ним предъявляют соответствующие требования экономического характера. К числу эксплуатационных свойств относят: теплостойкость, характеризующую способность стали сохранять при нагреве без значительных изменений структуру и свойства; сопротивление пластической деформации, износостойкость при повышенных температурах; сопротивление термической и термомеханической усталости (разгаростойкость); сопротивление хрупкому разрушению, с помощью которого оценивают прочность стали при динамическом нагружении или в условиях высокой неравномерности приложения нагрузки.

Иногда к эксплуатационным свойствам стали для штампов горячего деформирования условно относят также такие показатели, как твердость, сопротивление малой пластической деформации, сопротивление усталости, сопротивление смятию, теплопроводность, коэффициент термического расширения, окалиностойкость, устойчивость против адгезии, величину зерна стали, температуры критических точек и др. Некоторые из этих показателей косвенно характеризуют основные эксплуатационные свойства сталей для штампов. Так, например, твердость и сопротивление смятию характеризуют прочность и сопротивление пластической деформации сталей, пластичность — сопротивление хрупкому разрушению, окалиностойкость и устойчивость против адгезии — сопротивление изнашиванию и т. д.

К технологическим относят свойства материала, обеспечивающие возможность обработки инструмента с заданными эксплуатационными свойствами при минимальных затратах. Стали для штампов горячего деформирования должны обладать следующими технологическими свойствами: закаливаемостью, прокаливаемостью, способностью обеспечивать минимальную деформацию инструмента при термической обработке, устойчивостью против перегрева при термической обработке, устойчивостью против окисления и обезуглероживания при термической обработке, устойчивостью против образования трещин при закалке и шлифовании, ковкостью, способностью к формоизменению в процессе изготовления штамповых заготовок, хорошей обрабатываемостью.

При изготовлении штампового инструмента с использованием литья, наплавки, химико-термической обработки, выдавливания и других специфических технологических процессов круг требований, предъявляемых к штамповым материалам, расширяется. Так, например, стали для литых штампов должны иметь хорошую жидкотекучесть и малую склонность к трещинообразованию в отливках; малую склонность к трещинообразованию должны иметь и стали для штампов с наплавляемыми рабочими участками гравюры. С целью получения упрочненного азотированного слоя высокой износостойкости и достаточной глубины в некоторые стали для штампов вводят алюминий; в сталях, предназначенных для изготовления инструмента холодным выдавливанием, в целях уменьшения сопротивления деформированию содержание углерода снижают до 0,06—0,2%. После выдавливания гравюры такой инструмент перед закалкой цементируют; этим и обеспечивают высокую прочность и износостойкость рабочего слоя. Важным технологическим свойством сталей, предназначенных для изготовления крупногабаритных поковок для штампового инструмента (контейнеров и втулок, молотовых кубиков), является высокая флокеноустойчивость.

К экономическим требованиям, предъявляемым к сталям для штампов, относят достаточно низкую стоимость стали и ее недефицитность. Экономическая эффективность применения различных марок стали для штампов во многом зависит от стойкости и конструкции инструмента, а также характера кузнечно-штамповочного производства; в связи с этим стоимость штамповой стали может играть и второстепенную роль.

Требования к эксплуатационным свойствам стали для штампов, предназначенных для выполнения различных технологических процессов горячего деформирования, из-за разнообразия температурно-силовых условий эксплуатации штампов не могут быть общими. Более того, дифференцированный выбор марки стали и режима ее термической обработки (а следовательно, и соответствующего комплекса эксплуатационных свойств) необходим даже для различных частей и деталей одного штампа: пуансона, матрицы, рабочих вставок, знаков, выталкивателей и т. д.

Срок службы штамповой оснастки можно существенно повысить за счет выбора материала для штампов с соответствующими эксплуатационными свойствами. Так, для уменьшения интенсивности изнашивания штампов сталь, применяемая для изготовления штамповой оснастки, должна обладать высокими износостойкостью и теплостойкостью, для уменьшения пластической деформации (смятия) штампов — высокими прочностью и теплостойкостью, для предотвращения поломок или образования крупных трещин — высокими сопротивлением хрупкому разрушению и прочностью, наконец, для уменьшения числа и размеров разгарных трещин — высокой разгаростойкостью.

Одним из основных свойств стали, применяемой для изготовления штампов горячего деформирования, является теплостойкость. Выбор необходимой теплостойкости стали производят в зависимости от температуры нагрева поверхностного слоя штампа и продолжительности теплового воздействия. Чем они выше, тем большей теплостойкостью должен обладать материал для штампов.

На рис. VI.21 приведена схема, отражающая требования к теплостойкости и прочности стали для штампов, применяемых для выполнения ряда технологических процессов горячего деформирования. В соответствии с этой схемой теплостойкость стали для штампов в зависимости от температуры нагрева гравюры штампов делят на четыре класса: I—до 400—450° С — низкая теплостойкость; II—от 400—450 до 500—550° С— средняя теплостойкость; III — от 500—550 до 600—650° С — высокая теплостойкость; IV — свыше 600—650° С — очень высокая теплостойкость.

Требуемая прочность стали для штампов определяется величиной удельных усилий деформирования и температурой нагрева гравюры штампов. Поэтому при увеличении этих показателей необходимы более высокие теплостойкость и прочность штамповой стали. Прочность делят в зависимости от величины удельных усилий деформирования на четыре класса: I — удельное усилие деформирования до 20—25 кгс/мм² — низкая прочность; II—от 20—25 до 50—60 кгс/мм²— средняя прочность; III — от 50—60 до 90—100 кгс/мм² — высокая прочность; IV— свыше 90—100 кгс/мм² — очень высокая прочность.

Схема, приведенная на рис. VI.21, показывает, что штамповые стали с очень высокой теплостойкостью следует применять для изготовления штампов для жидкой и изотермической штамповки; их целесообразно применять и для штампов объемной штамповки жаропрочных сталей и сплавов на гидравлических и механических прессах. Стали с высокой прочностью следует использовать для изготовления штампов полугорячего выдавливания и высокоскоростной

Класс требуемой прочности	Удельные усилия деформирования, кгс/мм²	150—250	400—450	500—550	600—650
IA	90—100	Калибровка и правка стальных и титановых поковок на молотах	Выдавливание профилей и труб из алюминиевых и медных сплавов	Полугорячее и высокоскоростное выдавливание стали и титана	Выдавливание профилей и труб из труднодеформируемых материалов
III	50—60	Калибровка и правка алюминиевых и медных поковок на молотах	Высокоскоростная штамповка алюминиевых и медных сплавов	Штамповка стали и труднодеформируемых материалов на молотах	Выдавливание профилей и труб из конструкционных сталей
II	20—25	Горячая обрезка поковок на прессах	Радиальное обжатие, вальцовка, накатка и раскатка	Закрытая штамповка на прессах и высадка медных и стальных поковок	Штамповка стали и труднодеформируемых материалов на прессах
I	2—5	Открытая штамповка крупногабаритных поковок из легких сплавов на прессах	Открытая штамповка медных и стальных поковок на молотах	Открытая штамповка на прессах и высадка медных и стальных поковок	Изотермическая штамповка. Жидкая штамповка стали
	Температура нагрева поверхности гравюры штампов, °С				
	Класс требуемой теплостойкости	I	II	III	IV

Рис. VI.21. Требования к теплостойкости и прочности сталей для штампов горячего деформирования (схема)

Класс требуемой износостойкости	Схема деформации поковки	150—250	400—450	500—550	600—650
IV	Выдавливание и прошивка	Выдавливание профилей и труб из магниевых сплавов	Выдавливание профилей и труб из алюминиевых и медных сплавов	Полугорячее и высокоскоростное выдавливание стали и титана	Выдавливание профилей и труб из стали и труднодеформируемых материалов
III	Комбинированная (осадка+выдавливание)	Горячая обрезка поковок на прессах	Высокоскоростная штамповка цветных сплавов. Вальцовка, накатка и раскатка стали	Штамповка шестерен с зубом и других подобных поковок	Выдавливание поковок в разъемных матрицах
II	Осадка с истечением в облой	Открытая штамповка крупногабаритных поковок из легких сплавов	Открытая штамповка стали и цветных сплавов на молотах	Открытая штамповка стали и цветных сплавов на прессах	Открытая штамповка труднодеформируемых материалов на прессах
I	Осадка и высадка	Калибровка и правка поковок из стали и труднодеформируемых материалов	Радиальное обжатие и высадка	Закрытая штамповка и высадка медных и стальных поковок	Изотермическая штамповка. Жидкая штамповка
	Температура нагрева поверхности гравюры штампов, °С				
	Класс требуемой теплостойкости	I	II	III	IV

Рис. VI.22. Условия эксплуатации штампов, влияющие на изнашивание (схема) штамповки, а также для калибровочных и правочных молотовых штампов. Для изготовления штампов выдавливания легированных конструкционных сталей и труднодеформируемых сталей и сплавов (включая прямое, обратное, комбинированное выдавливание и выдавливание в разъемных матрицах на кривошипных горячештамповочных прессах, выдавливание прутков, профилей и труб на гидравлических прессах) следует применять стали с очень высокой теплостойкостью и прочностью.

Минимальные требования по теплостойкости и прочности предъявляют к стали для изготовления штампов открытой штамповки поковок из магниевых и алюминиевых сплавов на прессах, несколько более жесткие — к сталям, предназначенным для изготовления инструмента для вальцовки, радиального обжатия, накатки и раскатки, а также объемной штамповки легких сплавов и углеродистых сталей.

Температура нагрева и величина удельных усилий деформирования оказывают большое влияние и на износ штампов. Однако более существенное влияние на величину и характер изнашивания оказывают условия смазки и перемещение деформируемого металла по гравюре штампа; при этом объем перемещающегося металла определяется схемой деформации: минимум при осадке, максимум при выдавливании. Схема деформации учитывает условия смазки и величину удельных усилий; с переходом от осадки к выдавливанию ухудшаются условия смазки и возрастают нагрузки на штамп.

На рис. VI.22 приведена схема, отражающая температурно-силовые условия эксплуатации штампов горячего деформирования, влияющие на изнашивание. Износостойкость штамповых сталей делят на четыре класса: низкая, средняя, высокая и очень высокая. При штамповке по схеме осадки и высадки штампы можно изготавливать из стали с низкой износостойкостью, при осадке с облоем стали для штампов должны обладать средней износостойкостью, при комбинированной схеме деформации (осадка + выдавливание) от стали требуется высокая износостойкость, наконец, при деформации выдавливанием или прошивкой — очень высокая износостойкость. Схема, приведенная на рис. VI.22, показывает также, что износостойкость непосредственно связана с теплостойкостью стали. Высокая износостойкость при повышенном нагреве рабочей поверхности штампов может быть обеспечена лишь в том случае, если сталь обладает высокой теплостойкостью. Этим условиям (высокие износостойкость и теплостойкость) должна удовлетворять сталь, предназначенная для изготовления инструмента для выдавливания прутков, профилей и труб из стали и труднодеформируемых материалов. Высокие требования к износостойкости стали предъявляют также при изготовлении штампов для полугорячего и высокоскоростного выдавливания, а также выдавливания прутков, профилей и труб из магниевых и алюминиевых сплавов. В особо тяжелых условиях изнашивания работает инструмент при осуществлении таких технологических процессов, как обжатие, закрытая штамповка, высадка, изотермическая и жидкая штамповка.

Образование и развитие разгарных трещин определяется в первую очередь температурным режимом поверхности штампов. Среди параметров температурного режима основная роль принадлежит температурному градиенту $\Delta T = T_{max} - T_{min}$ и условиям охлаждения поверхности. Определенное влияние оказывают максимальная температура нагрева поверхности штампа T_{max} (особенно в том случае, если $T_{max} > Ac_1$) и величина удельных усилий штамповки.

Схема, отражающая требования к разгаростойкости стали для штампов, применяемых при выполнении ряда процессов горячего деформирования, приведена на рис. VI.23. В соответствии с этой схемой разгаростойкость в зависимости от температурного перепада и условий охлаждения штампов можно разделить на пять классов:

0 — штамповая сталь плохо сопротивляется образованию разгарных трещин; применение такой стали допустимо в том случае, если температурный градиент ΔT на поверхности штампов $\leqslant 200$—$250°$ С, а теплоотдача с поверхности происходит естественным путем за счет излучения в окружающее пространство и теплопроводности в тело штампа;

I — низкая разгаростойкость; стали с такой разгаростойкостью применяют в том случае, если $\Delta T \leqslant 400$—$500°$ С и гравюра охлаждается медленно; используют такие стали также при $\Delta T = 200 \div 250°$ С и принудительном охлаждении гравюры за счет продувки воздухом или испарения масляных и других консистентных смазок;

II — средняя разгаростойкость; стали с такой разгаростойкостью применяют при $\Delta T > 400$—$500°$ С и естественном охлаждении гравюры или при $\Delta T = 200 \div 250°$ С и интенсивном водяном охлаждении;

III — высокая разгаростойкость; стали с такой разгаростойкостью применяют при $\Delta T = 400 \div 500°$ С и интенсивном водяном охлаждении;

IV — очень высокая разгаростойкость; стали с такой разгаростойкостью применяют при $\Delta T > 400$—$500°$ С ($T_{max} > Ac_1$) и интенсивном водяном охлаждении.

Из рис. VI.23 видно, что калибровочные, правочные и обрезные штампы, а также инструмент для изотермической штамповки можно изготавливать из стали, не сопротивляющейся образованию разгарных трещин; в то же время сталь, предназначенная для изготовления штампов для выдавливания и объемной штамповки на высокопроизводительных прессах-автоматах и ковочных машинах, должна обладать высокой разгаростойкостью.

Сопротивление хрупкому разрушению штамповой стали зависит в основном от скорости деформирования и сложности конструкции штампового инструмента. На рис VI.24 приведена схема, отражающая требования к сопротивлению хрупкому разрушению стали для штампов, применяемых

Температурный градиент ΔT, °C	Естественное или внутреннее водяное	Принудительное воздушное или за счет испарения смазок	Принудительное водяное
400—500	II Закрытая штамповка стальных поковок на гидравлических прессах	III Жидкая штамповка стали. Выдавливание прутков, профилей и труб из стали и труднодеформируемых материалов	IV Выдавливание и штамповка на прессах-автоматах и ковочных машинах поковок из стали и труднодеформируемых материалов
200—250	I Жидкая штамповка цветных сплавов. Штамповка стальных поковок (с прошивкой и вытяжкой) на гидравлических прессах	II Вальцовка, высадка, накатка, раскатка, объемная штамповка мелких поковок на прессах и ковочных машинах	III Выдавливание и штамповка, высадка и раскатка средних и крупных стальных поковок на прессах и ковочных машинах
10—50	0 Калибровка, правка и обрезка поковок на прессах и молотах. Изотермическая штамповка	I Штамповка на молотах. Выдавливание прутков, профилей и труб из цветных сплавов, полугорячее выдавливание стальных поковок	II Штамповка поковок из стали и титановых сплавов на молотах

Способ охлаждения гравюры штампа

Рис. VI.23. Требования к разгаростойкости сталей для штампов (схема): *0, I—IV*—классы требуемой разгаростойкости

Скорость деформирования, м/с	Оборудование	Простая или бандажированная	Переходная (сложная)	Очень сложная
1—1.5	Оборудование ударного действия	II Штамповка поковок простой конфигурации на прессмолотах и молотах	III Штамповка поковок сложной конфигурации на прессмолотах и молотах	IV Высокоскоростная штамповка и выдавливание особо сложных поковок
0,1—0,3	Механические прессы и ковочные машины	I Штамповка, высадка, вальцовка, радиальное обжатие поковок простой конфигурации	II Штамповка, высадка, вальцовка, радиальная ковка поковок сложной конфигурации	III Выдавливание (полугорячее, в разъемных матрицах), штамповка особо сложных поковок из труднодеформируемых материалов
0,005	Гидравлические прессы	0 Открытая штамповка крупногабаритных поковок, изотермическая штамповка	I Закрытая штамповка поковок из различных материалов	II Выдавливание прутков, профилей и труб из различных материалов

Конструкция штампового инструмента

Рис. VI.24. Требования к сопротивлению хрупкому разрушению сталей для штампов (схема): *0, I— IV* — классы требуемого сопротивления хрупкому разрушению при выполнении ряда процессов горячего деформирования. Чем выше скорость деформирования и сложнее конструкция штампов, тем большим сопротивлением хрупкому разрушению должна обладать штамповая сталь. Скорость деформирования 1—1,5 м/с является условной границей между статическим и динамическим (ударным) нагружениями.

Конструкцию штампового инструмента классифицируют в соответствии с ее влиянием на неравномерность нагружения штампа и наличие концентраторов напряжений. К инструменту простой конструкции относят цельные штампы и ручьевые вставки с мелкой гравюрой, короткие пуансоны, массивные матрицы, втулки и т. п. (в том числе бандажированные), а к инструменту очень сложной конструкции — штампы и вставки с глубокой гравюрой, матрицы и пуансоны с тонкими ребрами и знаками, длинные пуансоны, иглы, оправки и т. п. Остальной инструмент следует относить к инструменту переходной (или сложной) конструкции.

Сопротивление хрупкому разрушению стали для штампов в зависимости от скорости деформирования и конструкции штампов делят на пять классов:

0 — сталь плохо сопротивляется хрупкому разрушению; в этом случае требований к сопротивлению хрупкому разрушению штамповой стали не предъявляют. Такую сталь можно применять для изготовления массивных штампов мощных гидравлических прессов или вставок для изотермической штамповки;

I — низкое сопротивление хрупкому разрушению; такую сталь можно применять для изготовления простых штампов механических прессов и ковочных машин или штампов переходной конструкции гидравлических прессов;

II — среднее сопротивление хрупкому разрушению; такую сталь применяют для изготовления простых штампов оборудования ударного действия, сложных штампов механических или очень сложных штампов выдавливания гидравлических прессов;

III — высокое сопротивление хрупкому разрушению; такую сталь применяют для изготовления сложных штампов механических прессов и ковочных машин;

IV — очень высокое сопротивление хрупкому разрушению; такую сталь применяют для изготовления штампов высокоскоростных молотов, имеющих очень сложную конструкцию и эксплуатируемых при скоростях деформирования $U \geqslant 12—15$ м/с.

При разработке требований к свойствам стали для штампов в первую очередь анализируют температурно-силовые условия эксплуатации штампов, устанавливают преимущественный вид износа и определяют основные и второстепенные эксплуатационные свойства.

Состав и свойства штамповых материалов

Схема классификации материалов, применяемых для изготовления штампов горячего деформирования, по химическому составу и структуре представлена на рис. VI.25. В соответствии с этой схемой применяемые для изготовления штампов материалы по структуре (для сталей после охлаждения на воздухе) разделены на шесть групп. В свою очередь в каждой группе выделены подгруппы сталей и сплавов, объединяемые по химическому составу общими признаками.

В ГОСТ 5950—73 «Сталь инструментальная легированная. Марки и технические требования» существенно изменены по сравнению с ранее действовавшим стандартом (ГОСТ 5950—63) химический состав и число марок стали для штампов горячего деформирования (табл. VI.13).

Из сталей, предусмотренных ранее действовавшим стандартом (ГОСТ 5950—63), в ГОСТе 5950—73 оставлены 14 марок: хромокремнистые и вольфрамохромокремнистые 4ХС, 6ХС, 4ХВ2С, 5ХВ2С и 6ХВ2С, хромистые 7Х3 и 8Х3, хромоникелевые 5ХНМ, 5ХНВ, 5ХНСВ, хромомарганцевая 5ХГМ и хромовольфрамованадиевые 4Х5В2ФС, 4Х2В5ФМ и 3Х2В8Ф. Дополнительно включены восемь новых марок: хромомолибденованадиевые 4ХСМФ, 4Х5МФС, 4Х5МФ1С, 3Х3М3Ф и хромовольфрамомолибденованадиевые 4Х3ВМФ, 4Х4МВФС, 4Х2СВ2МФ и 5Х3В3МФС.

Стали марок 4Х5МФС, 4Х5МФ1С и 3Х3М3Ф близки по составу сталям, применяющимся за рубежом. В течение нескольких лет их испытывали на Волжском автомобильном и ряде других заводов; результаты испытаний оказались вполне удовлетворительными. Остальные новые стали, включенные в ГОСТ 5950—73, разработаны в СССР в течение последних 10—15 лет и широко опробованы в различных отраслях отечественной промышленности.

Стали новых марок, введенные в ГОСТ 5950—73, обладают более высокими эксплуатационными и технологическими свойствами и обеспечивают повышенную стойкость штампов для горячего деформирования; их широкое внедрение будет способствовать экономии таких дефицитных легирующих элементов, как никель и вольфрам.

Сталь марки 4ХСМФ является полноценным безникелевым заменителем стали марок 5ХНМ и 5ХНВ; стойкость цельных молотовых штампов и вставок сборных молотовых и прессовых штампов, изготовленных из этой стали, в большинстве случаев в 1,2—1,5 раза выше стойкости таких же штампов, изготовленных из хромоникелевых сталей. Учитывая, что стоимость стали марки 4ХСМФ лишь на 25—40% выше, чем стоимость стали марок 5ХНМ, 5ХНВ и т. п., широкое внедрение стали этой марки обеспечивает большой народнохозяйственный эффект.

Стали марок 4Х5МФС и 4Х5МФ1С по свойствам и назначению близки к стали марки 4Х5В2ФС; однако благодаря повышенным сопротивлению хрупкому разрушению, разгаростойкости и прокаливаемости их целесообразно применять для изготовления более крупного и сложного прессового инструмента, работающего в условиях интенсивного охлаждения (пуансоны,

Таблица VI.13

Химический состав стали для штампов горячего деформирования (ГОСТ 5950—73)

Марка стали	Содержание элементов, %								
	C	Mn	Si	Cr	W	V	Mo	Ni	Nb
3Х2В8Ф	0,3—0,40	0,15—0,4	0,15—0,40	2,2—2,7	7,5—8,5	0,2—0,5	—	—	—
7Х3	0,65—0,75	0,15—0,4	0,15—0,35	3,2—3,8	—	—	—	—	—
8Х3	0,75—0,85	0,15—0,4	0,15—0,35	3,2—3,8	—	—	—	—	—
5ХНМ	0,5—0,60	0,5—0,8	0,15—0,35	0,5—0,8	—	—	0,15—0,3	1,4—1,8	—
5ХНВ	0,5—0,60	0,5—0,8	0,15—0,35	0,5—0,8	0,4—0,7	—	—	1,4—1,8	—
5ХНСВ	0,5—0,60	0,3—0,6	0,6—0,90	1,3—1,6	0,4—0,7	—	—	0,8—1,2	—
5ХГМ	0,5—0,60	1,2—1,6	0,25—0,65	0,6—0,9	—	—	0,15—0,3	—	—
4ХСМФ	0,37—0,45	0,5—0,8	0,5—0,80	1,5—1,8	—	0,3—0,5	0,9—1,2	—	—
4Х2В5ФМ	0,3—0,40	0,15—0,4	0,15—0,35	2,0—3,0	3,5—4,2	0,3—0,6	0,4—0,6	—	—
4Х5В2ФС	0,35—0,45	0,15—0,4	0,8—1,20	4,5—5,5	1,6—2,0	0,6—0,9	—	—	—
4Х5МФС	0,32—0,40	0,15—0,4	0,8—1,20	4,5—5,5	—	0,3—0,5	1,2—1,5	—	—
4Х5МФ1С	0,37—0,44	0,15—0,4	0,8—1,20	4,5—5,5	—	0,8—1,1	1,2—1,5	—	—
4Х3ВМФ	0,4—0,48	0,3—0,6	0,2—0,40	2,8—3,5	0,6—1,0	0,6—0,9	0,4—0,6	—	—
3Х3М3Ф	0,27—0,34	0,3—0,5	0,2—0,40	2,8—3,5	—	0,4—0,6	2,5—3,0	—	—
4Х4ВМФС (ДИ-22)	0,37—0,44	0,2—0,5	0,6—1,00	3,2—4,0	0,8—1,2	0,6—0,9	1,2—1,5	—	—
4Х2В2МФС (ЭП641)	0,42—0,50	0,3—0,6	0,3—0,60	2,0—2,5	1,8—2,4	0,6—0,9	0,8—1,1	—	—
5Х3В3МФС	0,45—0,52	0,3—0,6	0,5—0,80	2,5—3,2	3,0—3,6	1,5—1,8	0,8—1,1	—	0,05—0,15
4ХС	0,35—0,45	0,15—0,4	1,2—1,6	1,3—1,6	—	—	—	—	—
6ХС	0,6—0,70	0,15—0,4	0,6—1,0	1,0—1,3	—	—	—	—	—
4ХВ2С	0,35—0,45	0,15—0,4	0,6—0,9	1,0—1,3	2,0—2,5	—	—	—	—
5ХВ2С	0,45—0,55	0,15—0,4	0,5—0,8	1,0—1,3	2,0—2,5	—	—	—	—
6ХВ2С	0,55—0,65	0,15—0,4	0,5—0,8	1,0—1,3	2,2—2,7	—	—	—	—
6ХВГ	0,55—0,70	0,9—1,2	0,15—0,35	0,5—0,8	0,5—0,8	—	—	—	—

Примечание. Содержание остаточного никеля в стали, не легированной этим элементом, допускается до 0,35—0,6%, а остаточной меди — до 0,3%, содержание серы и фосфора не должно превышать 0,03% каждого.

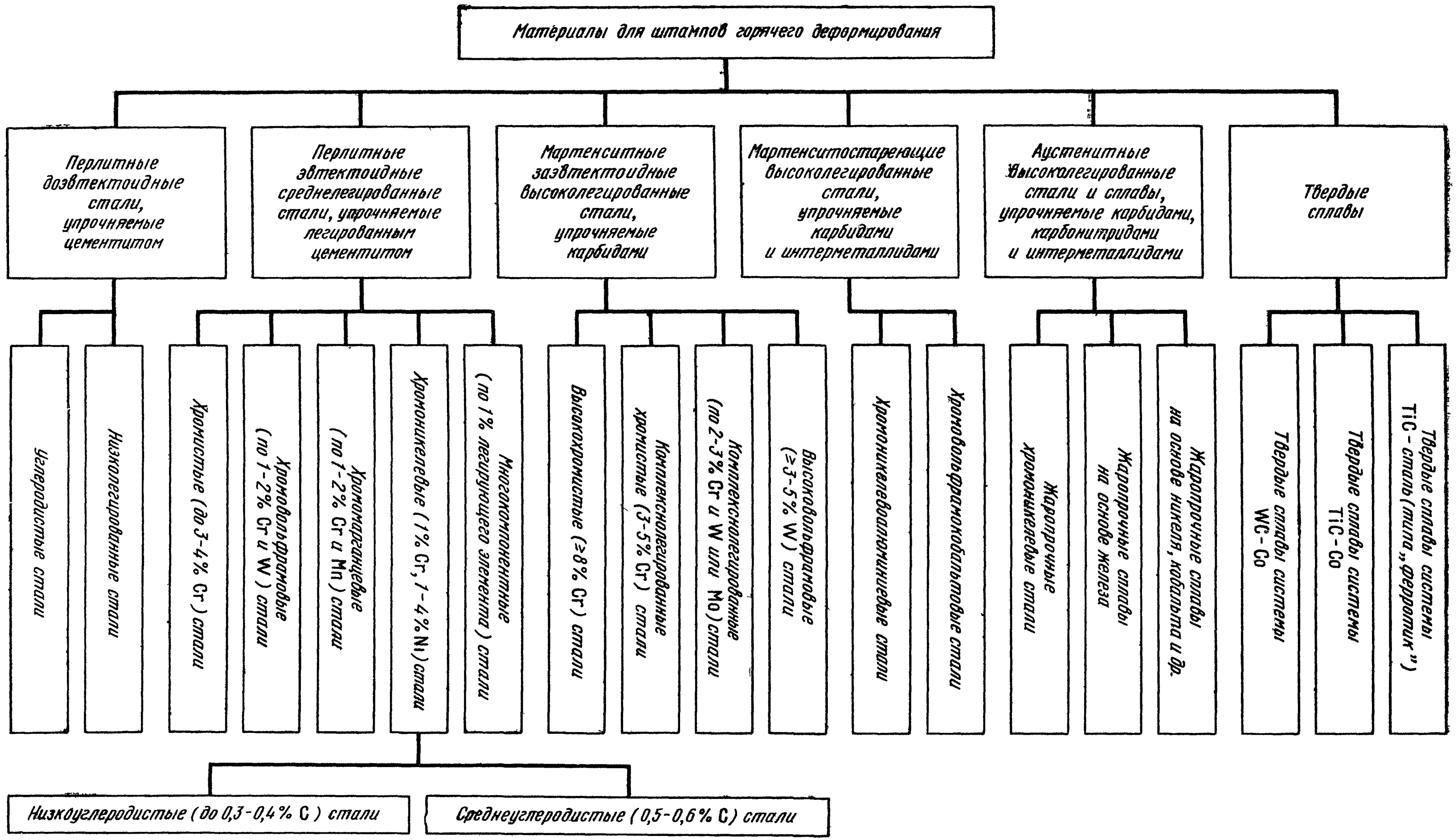

Рис VI 25. Классификация материалов для изготовления штампов горячего деформирования по химическому составу и структуре матрицы, вставки, прессформы). Сталь с повышенным содержанием ванадия 4Х5МФ1С благодаря более высоким показателям прокаливаемости, закаливаемости, износостойкости и устойчивости против перегрева (при закалке) рекомендуют применять для изготовления наиболее крупных и ответственных прессовых штампов.

Сталь марки 3Х3М3Ф имеет высокие теплостойкость, горячую прочность и особенно разгаростойкость; однако ее стоимость на 20—30% выше стоимости стали марки 4Х5В2ФС. Из нее изготавливают мелкий прессовый инструмент, работающий в условиях интенсивного нагрева и охлаждения.

Свойства стали марки 4Х3ВМФ близки к свойствам стали марок 4Х5В2ФС, 4Х5МФС и 4Х5МФ1С. Ее применяют в основном для изготовления крупных прессовых вставок. Имеется опыт использования стали марки 4Х3ВМФ для цельных кубиков и вставок штампов паровоздушных штамповочных молотов, пуансонов и матриц высокоскоростных молотов, втулок контейнеров, матриц и другого инструмента гидравлических прессов. Сталь марки 4Х3ВМФ всего на 10% дороже стали марки 4ХСМФ, хорошо обрабатывается; работоспособность штампов из этой стали по сравнению со штампами из стали марок 5ХНМ и 5ХНВ значительно выше.

Стали марок 4Х4МВФС, 4Х2СВ2МФ и 5Х3В3МФС имеют повышенные эксплуатационные свойства не только по сравнению с рассмотренными выше сталями новых марок, но и по сравнению со сталями 4Х2В5ФМ и 3Х2В8Ф. Наиболее дешевая из них сталь марки 4Х4МВФС. Она имеет повышенное сопротивление хрупкому разрушению. Из стали марки 4Х4МВФС изготавливают штампы для многих технологических процессов горячей штамповки: штамповки на паровоздушных и высокоскоростных молотах поковок из конструкционных, нержавеющих и жаропрочных сталей, штамповки на прессах и ковочных машинах поковок из конструкционных сталей и различных труднодеформируемых материалов (никелевые и титановые сплавы, быстрорежущие стали и др.). Ее стоимость близка к стоимости стали марки 4Х5В2ФС, а стойкость изготовленных из нее штампов в 1,5—2,5 раза выше (по сравнению со штампами из стали марок 5ХНМ и 5ХНВ в 3—4 раза выше).

Сталь марки 4Х2СВ2МФ по сравнению со сталями марок 4Х4МВФС и 5Х3В3МФС имеет промежуточные свойства и стоимость. Ее успешно применяют для изготовления тяжелонагруженных штампов выдавливания клапанов, зубчатых колес, полуосей и других деталей на кривошипных горячештамповочных прессах. Стойкость мелких азотированных матриц, изготовленных из этой стали, в 2—3 раза выше, чем стойкость матриц из стали марки 3Х2В8Ф, а стойкость крупных матриц и вставок — в 4—5 раз выше (по сравнению со сталью марки 5ХНВ).

Сталь марки 5Х3В3МФС по сравнению со всеми стандартными сталями отличается максимальными теплостойкостью, прочностью и износостойкостью при повышенных температурах. Ее применяют для изготовления тяжелонагруженных штампов механических и гидравлических прессов и ковочных машин. При стоимости, равной стоимости стали марок 4Х2В5ФМ и 3Х2В8Ф, стойкость штампов из стали марки 5Х3В3МФС в ряде случаев в 1,5—3 раза выше. Особенно эффективно применение этой стали для изготовления штампов горячего деформирования заготовок из жаропрочных сталей и сплавов.

Введение в ГОСТ 5950—73 новых марок стали отражает изменения в кузнечноштамповочном и инструментальном производстве СССР за последнее десятилетие. С одной стороны, широкое внедрение нового прогрессивного кузнечно-штамповочного оборудования и технологических процессов горячего деформирования потребовало резкого повышения стойкости штампов, с другой стороны, работы научно-исследовательских организаций и передовых заводов позволили широко испытать новые штамповые стали и выбрать лучшие из них. Совершенствование структуры производства штамповых сталей, повышение объема выпуска и потребления прогрессивных марок — наиболее эффективный путь решения проблемы повышения стойкости штампов.

Помимо марок стали, стандартизованных ГОСТ 5950—73, в СССР ограниченно применяют и другие марки стали для штампов горячего деформирования (табл. VI. 14).

Отдельные из них выпускают в соответствии с ранее действовавшими стандартами и техническими условиями; другие марки стали не вошли в новый ГОСТ вследствие узкого целевого назначения (например, стали для контейнеров гидравлических прессов) или недостаточного опробования в промышленности.

Стали, состав которых приведен в табл. VI.14, можно разделить на несколько групп.

К первой группе следует отнести хромоникелевые и хромомарганцовистые стали, близкие по свойствам и назначению к сталям марок 5ХНМ, 5ХНВ, 5ХНСВ и 4ХСМФ, входящим в ГОСТ 5950—73. Стали марок 5ХНТ, 5ХНС и 5ХГС применяли в 50-е годы для изготовления молотовых штампов. Стали марок 5ХГВ, 6ХГВ, 5Х2МФ, 5Х2ВФ, 5Х3СМ, 5ХГСВФ и 5ХГСФМ разработаны в 60-е годы в качестве безникелевых заменителей стали для изготовления молотовых штампов и крупных прессовых вставок. В настоящее время в связи с широким применением для этой цели безникелевой стали марки 4ХСМФ все вышеуказанные стали используют ограниченно (за исключением стали марки 5ХГСВФ).

В стадии промышленного опробования находится сталь марки 5Х2ВМНФ; она предназначена для изготовления тяжелонагруженных молотовых и крупных прессовых штампов. Сталь марки 45ХНМФА применяют для изготовления литых штампов, с этой же целью, а также для очень крупных штампов (массой >10—25 т)

Таблица VI.14

Химический состав штамповых сталей СССР в соответствии с техническими условиями

Марка стали	Содержание элементов, % (средние значения)								
	C	Mn	Si	Cr	W	V	Mo	Ni	другие элементы
5ХНТ	0,55	0,70	0,30	1,10	—	—	—	1,6	0,12 Ti
5ХНС	0,55	0,40	0,70	1,50	—	—	—	1,0	—
5ХГС	0,55	1,40	0,70	0,80	—	—	—	—	—
5ХГВ	0,55	1,00	0,45	1,00	0,6	—	—	—	—
6ХГВ	0,60	1,00	0,30	0,70	0,7	—	—	—	—
5Х2МФ	0,48	0,60	0,30	2,30	—	0,15	0,45	—	—
5Х2ГФ	0,50	1,40	0,30	2,00	—	0,15	—	—	—
5ХГСФМ	0,50	1,00	0,70	1,50	—	0,25	0,20	—	—
5ХНМ2	0,55	0,70	0,30	0,70	—	—	0,35	1,6	—
5Х2ВМНФ	0,47	0,50	0,30	1,80	0,9	0,40	0,50	1,5	—
45ХНМФА	0,47	0,70	0,30	1,00	—	0,20	0,20	1,6	—
5Х3ГС	0,50	1,00	1,30	3,50	—	—	—	—	—
6Х3ФС	0,59	0,40	0,60	3,00	—	0,40	0,35	—	—
5Х2СФ	0,50	0,40	0,70	1,90	—	0,20	—	—	—
4Х8В2	0,40	0,30	0,30	8,00	2,5	—	—	—	—
3Х10В2Ф	0,35	0,30	0,30	10,00	2,3	0,15	—	—	—
4Х3ВФ	0,45	0,30	0,30	3,00	1,2	0,70	—	—	—
4Х3ВМФС	0,40	0,40	1,00	3,20	0,6	0,50	1,2	—	—
4Х2ГСВМФ	0,40	1,25	1,45	2,25	0,35	0,35	1,25	—	—
4ХГСМФБР	0,40	0,70	0,90	1,60	—	0,40	0,4	—	0,003B; 0,6Nb
4ХСНМФЦР	0,40	0,40	0,90	1,60	—	0,40	0,7	1,5	0,003 B; 0,06 Zr
5Х4СВ4МФ	0,50	0,40	0,40	4,50	4,5	0,70	0,5	0,7	—
4Х2СВМФЮ	0,40	0,50	0,50	2,30	1,2	0,70	1,0	—	0,6 Al
4Х3М2В2Ф2	0,40	0,40	0,30	3,40	2,4	1,70	2,3	—	—
4Х3В8М	0,40	0,40	0,30	3,50	8,0	—	1,0	—	—
3Х4В2М2Ф	0,32	0,30	0,30	3,80	2,0	1,00	2,0	—	—
4Х3В5М3Ф	0,40	0,40	0,30	3,20	5,00	1,00	2,8	—	—
5ХМВФС	0,45	0,40	0,60	1,50	0,5	0,80	0,5	—	—
5ХН4М	0,45	0,50	0,20	1,30	0,5	—	0,8	4,0	—
3ХВ4СФ	0,30	0,50	0,60	1,50	4,2	0,30	—	—	—
3Х2В5Ф	0,30	0,30	0,20	2,50	4,5	0,60	—	—	—
3Х2Н2ВМФ	0,35	0,70	0,30	2,25	0,9	0,25	0,9	1,6	—
27Х2Н2МВФ	0,27	0,70	0,30	2,25	0,5	0,25	0,5	1,6	—
30Х2М1Ф1Н	0,30	0,50	0,30	2,25	—	0,70	1,0	1,4	—
30Х2М1Ф1Н3	0,30	0,50	0,30	2,25	—	0,70	1,0	3,0	—
30Х2Г2М1Ф1	0,30	1,40	0,30	2,25	—	0,70	1,0	—	—
30Х2МФН	0,30	0,50	0,25	2,25	—	0,35	0,5	1,3	—
38Х2Н3М	0,38	0,70	0,30	1,25	—	—	0,35	3,0	—
4Х2Г2М	0,40	1,50	0,30	2,00	—	—	0,2	—	—
6ХГСФ	0,60	0,90	0,80	1,20	—	0,10	—	—	—
6ХГН2МФ	0,55	1,60	0,30	0,70	—	0,10	0,5	1,7	—
3Х2В8К2Ф	0,30	0,30	0,20	2,50	9,0	0,30	—	—	2 Co
6Х4В9МФ	0,65	0,30	0,30	4,00	9,0	0,70	0,9	—	—
5Х13Н13В3ФС	0,50	0,70	1,30	13,00	2,5	0,50	—	13,0	—
2Х8В8М2К5	0,25	—	—	8,00	8,0	0,40	2,5	—	5 Co
2Х8В8М2К8	0,25	—	—	8,00	8,0	0,40	2,5	—	8 Co
3Х2Н8МФСЮ	0,30	0,40	0,80	2,00	—	0,90	1,3	8,5	1,5 Al

ограниченно применяют стандартные стали с пониженным содержанием углерода типа 45ХНМ, 45ХНВ и т. п. Также ограниченно применяют стали марок 5Х3ГС (для крупных высадочных штампов) и 5Х2СФ (для ножей горячей резки).

К следующей группе относят стали, предназначенные для изготовления инструмента механических прессов и ковочных машин, близкие по свойствам и применению к сталям марок 4Х5В2ФС, 4Х3ВМФ и т. п.

Стали следующей группы предназначены для изготовления прессового инструмента для выдавливания прутков, профилей и труб из различных материалов. Стали марок 5ХМВФС, 5ХН4М, 3ХВ4СФ и 3Х2В5Ф в свое время были заимствованы из зарубежного опыта и в настоящее время применяются мало. В марочник стали для тяжелого машиностроения, изданный ЦНИИТмашем, включены стали марок 3Х2Н2ВМФ, 27Х2Н2МВФ, 30Х2М1Ф1Н, 30Х2М1Ф1Н3, 30Х2Г2М1Ф1, 30Х2МФН и

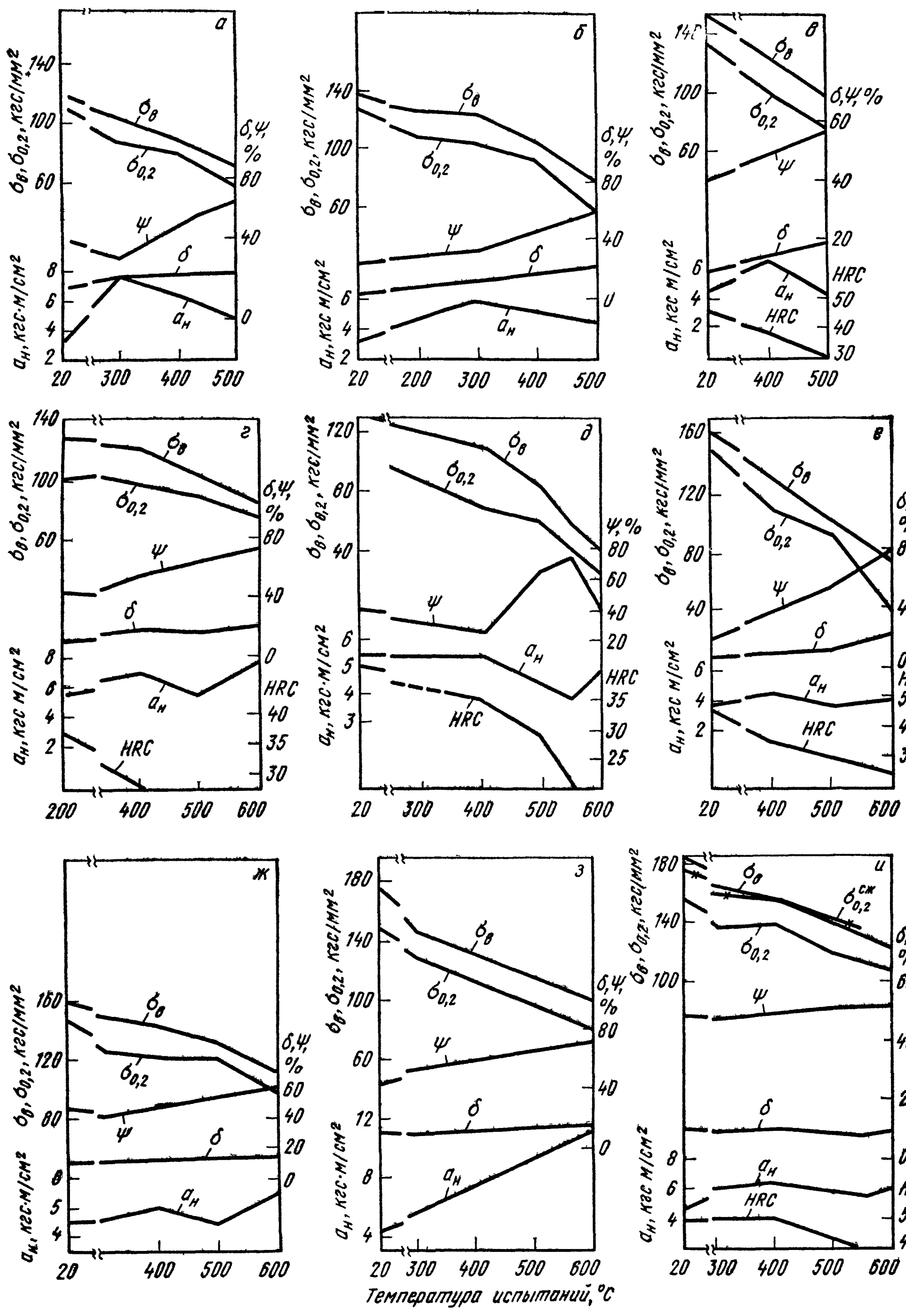

Рис. VI.26. Зависимость механических свойств от температуры испытаний для стали различных марок:

а, *б* — соответственно 7Х3 и 8Х3 (закалка с 870° С, отпуск при 500° С); *в* — 5ХНМ (закалка с 850° С, отпуск при 440° С); *г* — 5ХНВ (закалка с 870° С, отпуск при 550° С); *д* — 5ХНВС (закалка с 870° С, отпуск при 570° С); *е* — 5ХГМ (закалка с 850° С, отпуск при 450° С); *ж* — 4ХМФС (закалка с 920° С, отпуск при 560° С); *з* — 5Х2МНФ (закалка с 980° С, двукратный отпуск при 600° С); *и* — 4Х5В2ФС (закалка с 1040° С, отпуск при 580° С)

38Х2Н3М. Сортамент и качество заготовок для инструмента, свойства и области применения этих сталей регламентируют специальные межотраслевые и заводские технические условия. Стали марок 4Х2Г2М, 6ХГСФ и 6ХГН2МФ применяют в основном для изготовления вспомогательного инструмента: подкладных плит, матрицедержателей, иглодержателей и т. п.; иногда их используют для изготовления формо-

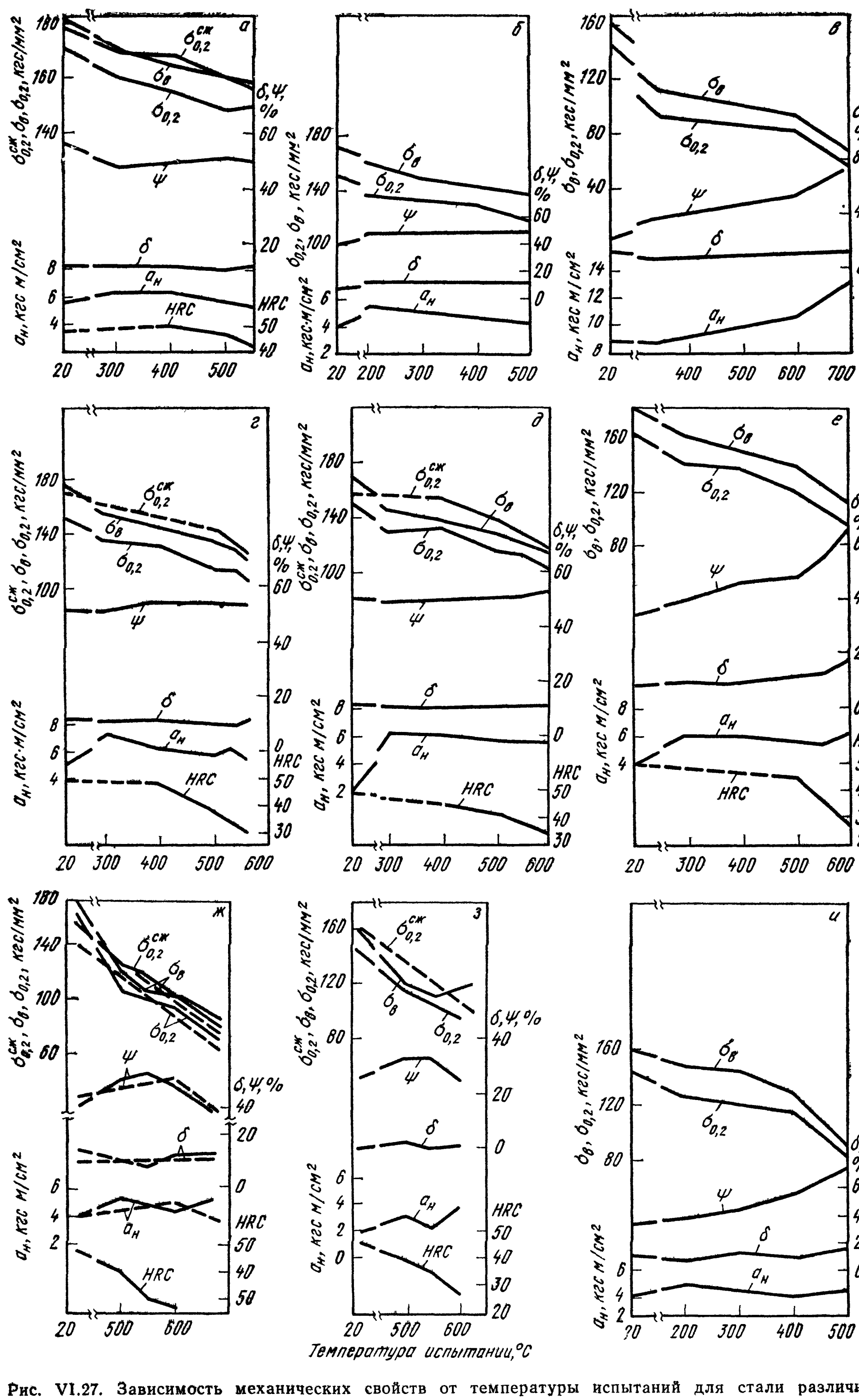

Рис. VI.27. Зависимость механических свойств от температуры испытаний для стали различных марок:

а — 4Х5МФС (закалка с 1000° С, отпуск при 500° С); *б* — 4Х5МФ1С (закалка с 1020° С, отпуск при 580° С); *в* — 2Х9В6 (закалка с 1140° С, отпуск при 550° С); *г* — 4Х3ВМФ (закалка с 1060° С, отпуск при 580° С); *д* — 3Х3М3Ф (закалка с 1040° С, отпуск при 500° С); *е* — 4Х4ВМФС (закалка с 1060° С, отпуск при 620° С); *ж* — 4Х2В5МФ (закалка с 1080° С, двукратный отпуск при 650° С); *з* — 3Х2В8Ф (закалка с 1130° С, отпуск при 640° С), *и* — 6ХВГ (закалка с 870° С, отпуск при 450° С) образующего инструмента, предназначенного для выдавливания прутков из свинцовых и цинковых сплавов.

Стали марок 3Х2В8К2, 6Х4В9МФ и 5Х13Н13В3ФС ранее применяли для изготовления инструмента объемной штамповки дов). Сталь такого типа (марка 3Х2Н8МФСЮ) разработана и изучена в УкрНИИспецстали. Однако вследствие пониженной температуры разупрочнения этой стали [высокой скорости коагуляции интерметаллидов типа (NiFe)Al] ее тепло-

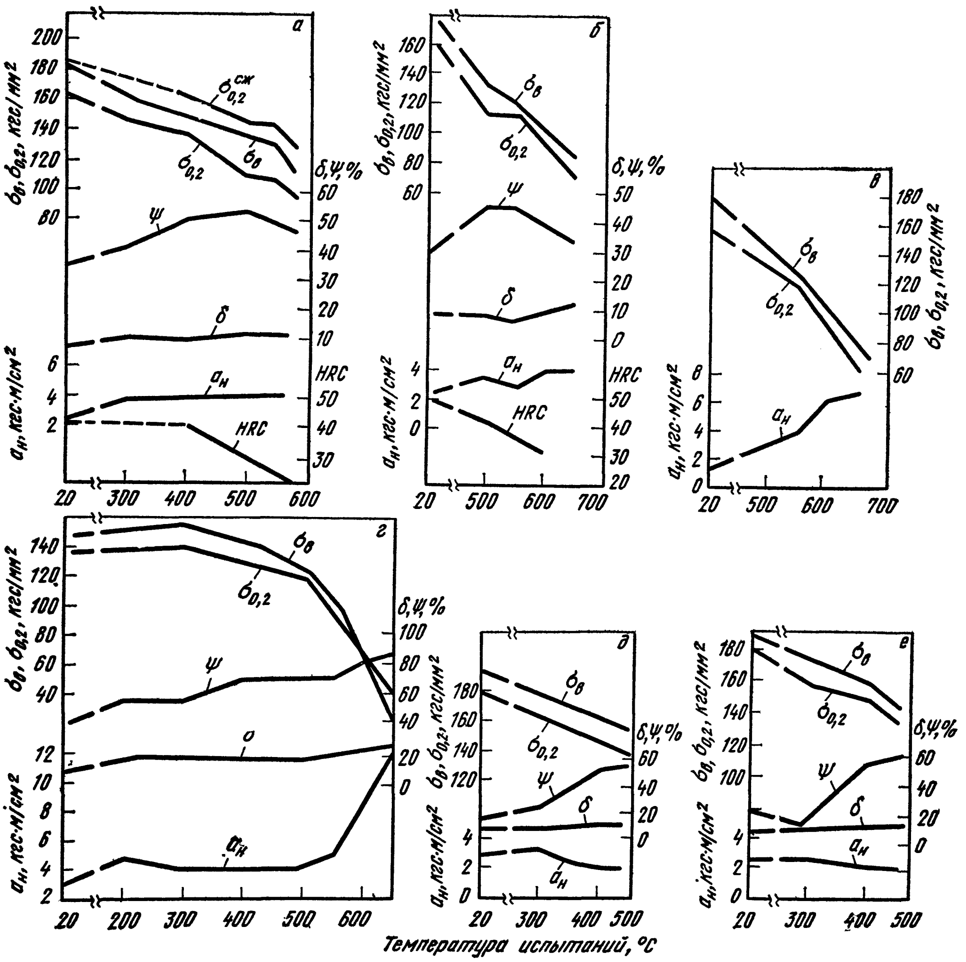

Рис. VI.28. Зависимость механических свойств от температуры испытаний для стали различных марок·

а — 4Х2В2МФС (закалка с 1080° С, отпуск при 630° С); *б* — 5Х3В3МФС (закалка с 1150° С, отпуск при 650° С); *в* — 2Х6В8М2К8 (закалка с 1200° С, отпуск при 670° С); *г* — 4ХВ2С (закалка с 880° С, отпуск при 430° С); *д*—*е* — соответственно 5ХВ2С и 6ХВ2С (закалка с 880° С, отпуск при 450° С)

и выдавливания заготовок из труднодеформируемых сплавов на основе железа, никеля, титана и т. п. В последнее время для такого инструмента разработаны стали марок 2Х8В8М2К5 и 2Х8В8М2К8, обладающие весьма высокими теплостойкостью, прочностью и износостойкостью при повышенных температурах. Испытания показали перспективность этих сталей, для их упрочнения при термической обработке используют механизм дисперсионного твердения матрицы стали интерметаллидами. Определенный интерес представляют стали с комбинированным упрочнением (за счет карбидов и интерметалли-стойкость относительно невелика; она ниже теплостойкости и хромовольфрамокобальтовых сталей и стандартных сталей марки 4Х4МВФС и других, упрочняемых карбидной фазой.

Кроме специальных инструментальных сталей, химический состав которых приведен в табл. VI.13 и VI.14, для изготовления штампового инструмента для горячего деформирования применяют и другие стали: конструкционные, инструментальные, жаропрочные, а также некоторые сплавы.

Прежде всего весь неответственный крепежный инструмент — плиты, пакеты, бандажи, прокладки скобы и т. п. — изготавливают в основном из проката и поковок из стали марок 45, 40Х или отливок из стали марок 45Л, 40ХЛ. Из этих сталей, а также стали марок 50, 60 и 65 изготавливают также подкладные штампы и валки ковочных вальцев. Ответственные тяжелонагруженные бандажи изготавливают из стали марок 35ХГСА (мелкие) и 40ХН (крупные), а наружные втулки контейнеров — из стали марки 0ХН3М.

В редких случаях для изготовления штампового инструмента горячего деформирования применяют углеродистые стали марок У7 и У8 (подкладные и обрезные штампы, выталкиватели и т. п.), легированные стали марок 9ХС и другие (выталкиватели и обрезные пуансоны, различные подкладные плиты и прокладки) и быстрорежущие стали (тяжелонагруженные пуансоны и матрицы выдавливания).

Иногда для изготовления штампов горячего деформирования применяют твердые сплавы. Из твердых сплавов изготавливают матричные вставки, используемые при выдавливании и объемной штамповке, ротационной ковке и электровысадке. Для этой цели применяют вольфрамокобальтовые твердые сплавы (марки ВК20 и ВК30); часто в вольфрамокобальтовые сплавы дополнительно вводят карбиды тантала (марки ВК6Та, ВК8Та, ВК22Та, ВК25Та). Находят применение твердые сплавы на основе карбидов титана и ниобия (марка ТН25) и минералокерамические твердые сплавы на основе окиси алюминия (марки 22ХС и ТСА). В редких случаях применяют литые твердые сплавы (например, высокоуглеродистый сплав на основе кобальта типа 170Х25В6К33С2).

Основными преимуществами твердых сплавов являются высокие теплостойкость, износостойкость и прочность при нагреве до температуры 1000° С; в то же время твердые сплавы хрупки и имеют низкую разгаростойкость. Кроме того, стоимость твердосплавных заготовок в 5—10 раз превышает стоимость заготовок той же массы из штамповой стали.

Несколько иное сочетание свойств имеют жаропрочные стали и сплавы, применяемые для изготовления тяжелонагруженных штампов горячего деформирования (например, при штамповке и выдавливании труднодеформируемых материалов, при изотермической штамповке). При нагреве штампа до температуры 600—700° С жаропрочные стали и сплавы не имеют преимуществ перед лучшими штамповыми и быстрорежущими сталями; однако в интервале температур 700—800° С и выше их прочность, износостойкость и особенно разгаростойкость значительно превосходят соответствующие свойства штамповых сталей. Помимо этого, рассматриваемые жаропрочные материалы обладают высоким сопротивлением хрупкому разрушению. Все это делает их перспективными в тех случаях, когда основным фактором, определяющим выход штампов из строя, является высокий нагрев. Широкое применение жаропрочных сталей и сплавов для изготовления штампов сдерживается лишь

Таблица VI.15

Химический состав жаропрочных сталей и сплавов, применяемых для изготовления штампов горячего деформирования

Марка стали или сплава	Содержание элементов, % (средние значения)													
	C	Mn	Si	Cr	W	V	Mo	Ni	Fe	Al	Ti	Co	Nb	B
4Х14Н14В2М (ЭИ69)	0,45	⩽0,7	⩽0,8	14	2,4	—	0,3	14	Основа	—	—	—	—	—
4Х15Н7Г7Ф2МС (ЭИ388)	0,42	7	1,2	15	—	1,7	0,8	7	»	—	—	—	—	—
4Х12Н8Г8МФБ (ЭИ481)	0,37	8,5	0,6	12,5	—	1,4	1,2	8	»	—	—	—	0,35	—
4Х22Н8Г8МФБ	0,37	8	0,6	22	—	1,4	1,3	8	»	—	—	—	0,35	—
ХН77ТЮР (ЭИ437Б)	⩽0,07	⩽0,4	⩽0,6	20,5	—	—	—	Основа	⩽4	0,8	2,5	—	—	⩽0,01
ХН70ВМТЮ (ЭИ617)	⩽0,12	⩽0,5	⩽0,6	14,5	6	0,3	3	»	⩽5	2,0	2,0	—	—	⩽0,02
ХН62ВМКЮ (ЭИ867)	⩽0,10	⩽0,4	⩽0,5	9,5	5,2	—	10	»	⩽4	4,5	—	5,0	—	⩽0,02
ХН55ВМТКЮ (ЭИ929)	⩽0,12	⩽0,5	⩽0,5	10,5	5,5	0,5	5	»	⩽5	4,0	1,7	14,0	—	⩽0,02
ЖС3	0,14	⩽0,6	⩽0,6	16	5,5	0,3	3,8	»	⩽8	2,0	2,0	—	—	⩽0,02
ЖС6	0,15	⩽0,4	⩽0,4	12,5	7	—	4,8	»	⩽2	5,0	2,5	—	—	⩽0,02
ЖС6К	0,16	⩽0,4	⩽0,4	11,5	5,2	5,5	2,7	»	⩽2	—	5,0	4,5	—	⩽0,02

Таблица VI.16

Температурные интервалы ковки сталей для штампов горячего деформирования

Марка стали	Температурный интервал ковки, °С		Марка стали	Температурный интервал ковки, °С	
	начало	окончание		начало	окончание
3Х2В8Ф	1160—1180	850—920	2Х9В6	1170—1190	840—870
7Х3	1160—1180	850—900	4Х3ВМФ	1160—1180	880—920
8Х3	1160—1180	850—900	4Х4МВФС	1160—1180	850—920
5ХНМ	1150—1180	850—880	3Х3М3Ф	1160—1180	850—920
5ХНВ	1160—1180	850—880	4Х2СВ2МФ	1160—1180	850—920
5ХНСВ	1160—1180	850—880	5Х3В3МФС	1180—1200	850—920
5ХГМ	1150—1180	850—880	2Х6В8М2К8	1190—1220	880—920
4ХСМФ	1160—1180	850—880	4ХС	1160—1180	850—880
5Х2МНФ	1190—1210	850—880	6ХС	1160—1180	850—880
4Х5В4ФСМ	1160—1180	850—920	4ХВ2С	1160—1180	820—870
4Х2В5ФМ	1160—1180	880—920	5ХВ2С	1160—1180	820—870
4Х5В2ФС	1160—1180	850—900	6ХВ2С	1160—1180	820—870
4Х5МФС	1160—1180	850—900	6ХВГ	1150—1170	820—870
4Х5МФ1С	1160—1180	850—900	6Х3ФС	1170—1190	820—870

Таблица IV.17

Температура критических точек стали для штампов горячего деформирования

Марка стали	Критические точки, °С					
	Ac_1	Ac_3 (Acm)	Ar_3 (Arm)	Ar_1	$M_н$	$M_к$
3Х2В8Ф	800	850	750	690	380	—
7Х3	765	—	—	730	400	—
8Х3	785	830	770	750	370	110
5ХНМ	730	780	640	610	230	—
5ХНВ	730	780	—	—	205	—
5ХНВС	760	800	—	—	250	—
5ХГМ	700	800	—	—	215	—
4ХМФС	760	805	710	630	280	100
5Х2МНФ (ДИ-32)	740	815	730	650	210	40
4Х5В2ФС (ЭИ958)	800	875	840	730	275	90
4Х5МФС	840	870	810	735	300	110
4Х5МФ1С (ЭП572)	875	935	815	760	305	140
2Х9В6 (ЭП726)	900	945	—	—	280	—
4Х3ВМФ (3И-2)	800	850	760	730	230	—
4Х4ВМФС (ДИ-22)	830	910	750	670	255	105
3Х3М3Ф	815	875	820	760	340	155
4Х2В5МФ (ЭИ959)	820	840	840	690	205	100
4Х2В2МФС (ЭП641)	805	840	775	660	315	90
5Х3В3МФС (ДИ-23)	780	920	725	665	330	70
2Х6В8М2К8 (ЭП745)	825	890	—	—	180	—
4ХС	770	860	—	—	290	—
6ХС	770	830	—	—	250	—
4ХВ2С	780	840	—	—	315	—
5ХВ2С	775	860	—	—	295	—
6ХВ2С	775	810	—	—	280	—
6ХВГ	780	795	695	675	280	—
6Х3ФС (ЭП788)	775	860	—	—	215	—

их высокой стоимостью и дефицитностью входящих в жаропрочные сплавы элементов; кроме того, при обработке жаропрочных сталей и сплавов резанием и давлением встречаются известные трудности.

Основными марками жаропрочных сталей и сплавов, применяемыми для изготовления штампов, являются: деформируемые — ХН77ТЮР, ЭИ617, ЭИ867, ЭИ929; литые — ЖС3, ЖС6, ЖС6К (табл. VI.15).

Специально для штампового инструмента разработана жаропрочная высокоизносоустойчивая и сравнительно дешевая сталь марки 4Х22Н8Г8МФБ.

В табл. VI.16 приведены температурные интервалы ковки сталей для штампов горячего деформирования, а на рис. VI.26—VI.28 — влияние температуры испытания на их свойства.

Диаграммы изотермического превращения и термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита ряда марок штамповых сталей представлены на рис. VI.29—VI.48.

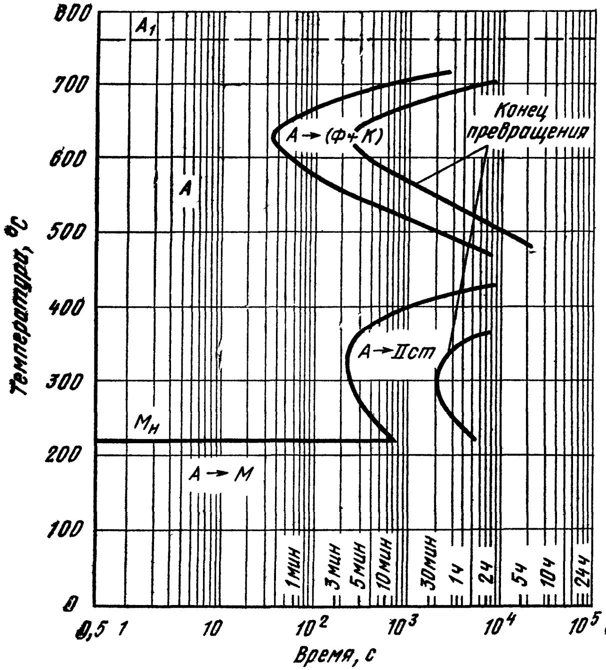

Рис. VI.29. Диаграмма изотермического превращения аустенита стали 7Х3 (0,68% C; 0,5% Si; 3,49% Cr; A_1=760° C; $M_н$=220° C; $t_{ауст}$=950° C)

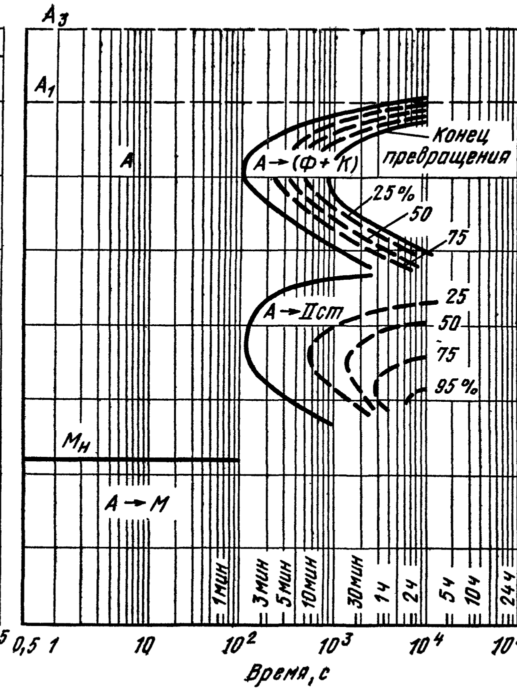

Рис. VI.30. Диаграмма изотермического превращения аустенита стали 5ХГМ (0,59% C; 0,41% Si; 1,42% Mn; 0,85% Cr; 0,1% Ni; 0,16% Mo; A_1=710° C; $M_н$=225° C; $t_{ауст}$=860° C)

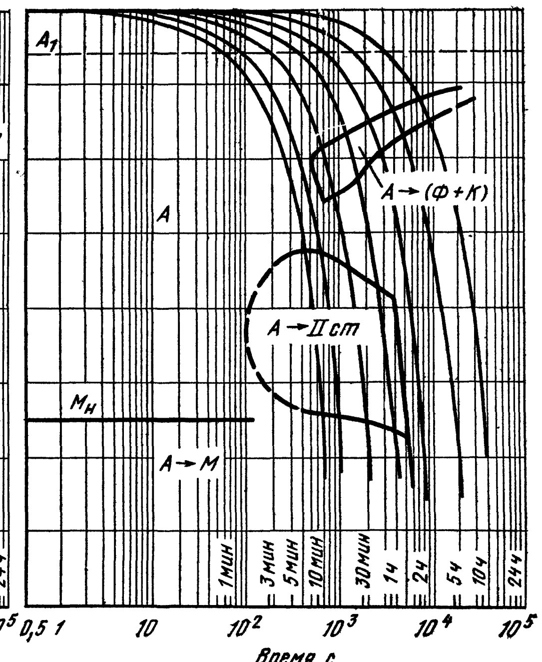

Рис. VI.31. Термокинетическая диаграмма распада переохлажденного аустенита стали 5ХГМ (0,53% C; 0,38% Si; 1,53% Mn; 0,76% Cr; 0,3% Ni; 0,17% Mo; A_1=740° C; $M_н$=250° C; $t_{ауст}$=880° C)

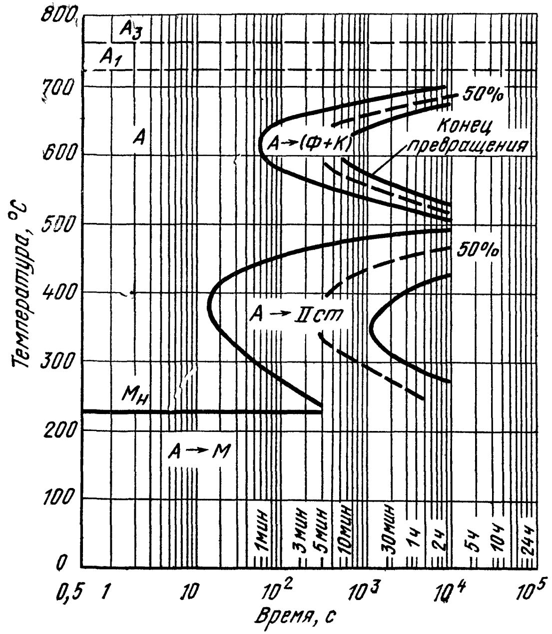

Рис. VI.32. Диаграмма изотермического превращения аустенита стали 5ХНТ (0,53% C; 0,28% Si; 0,68% Mn; 1,12% Cr; 1,52% Ni; 0,11% Ti; A_1=725° C; $M_н$=275° C; $t_{ауст}$=860° C)

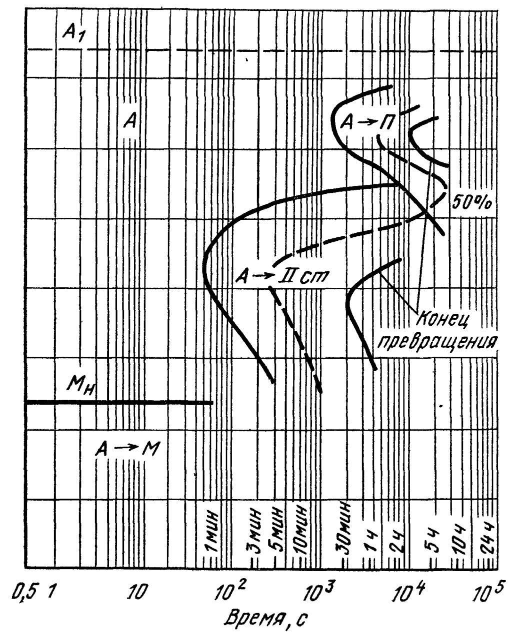

Рис. VI.33. Диаграмма изотермического превращения аустенита стали 5ХНМ (0,54% C; 0,28% Si; 0,77% Cr; 1,75% Ni; 0,34% Mo; 0,06% V; A_1=750° C; $M_н$=240° C; $t_{ауст}$=850° C)

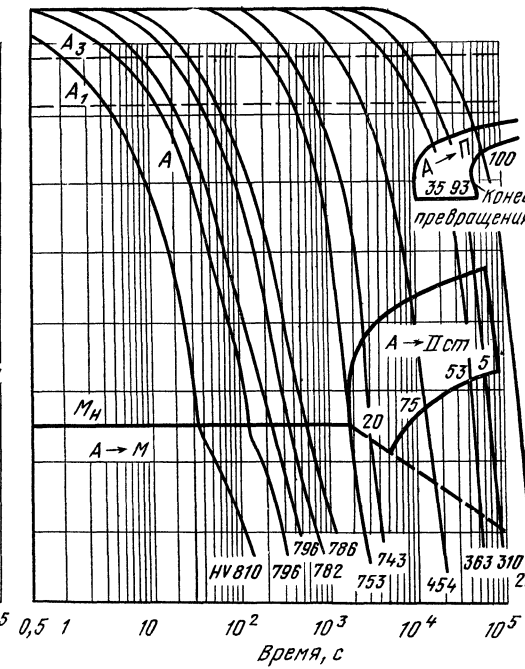

Рис. VI.34. Термокинетическая диаграмма распада переохлажденного аустенита стали 5ХНМ (0,52% C; 0,29% Si; 1,09% Cr; 1,72% Ni; 0,43% Mo; 0,11% V; A_1=720° C; $M_н$=250° C; $t_{ауст}$=850° C)

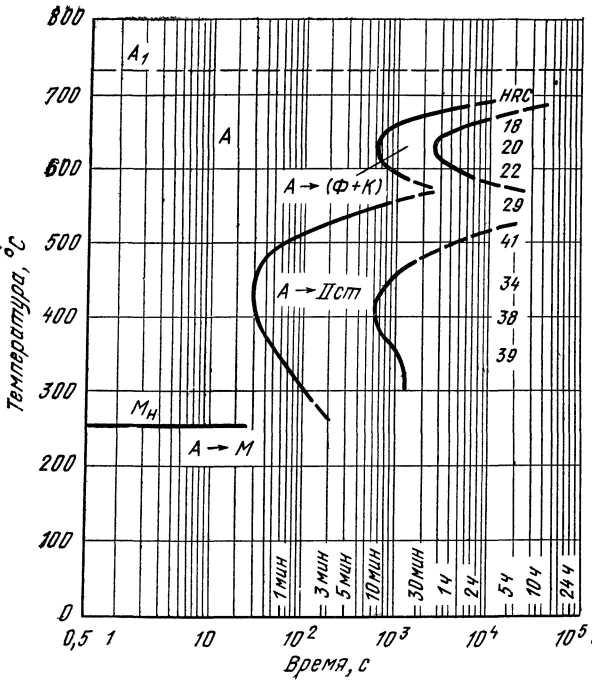

Рис VI 35 Диаграмма изотермического превращения аустенита стали 5ХНВ (0 56% C, 0 23% Si, 0 59% Mn, 0,6% Cr, 1,6% Ni, 0 78% W, A_1=735° C, $M_н$=250° C, $t_{ауст}$=900° C)

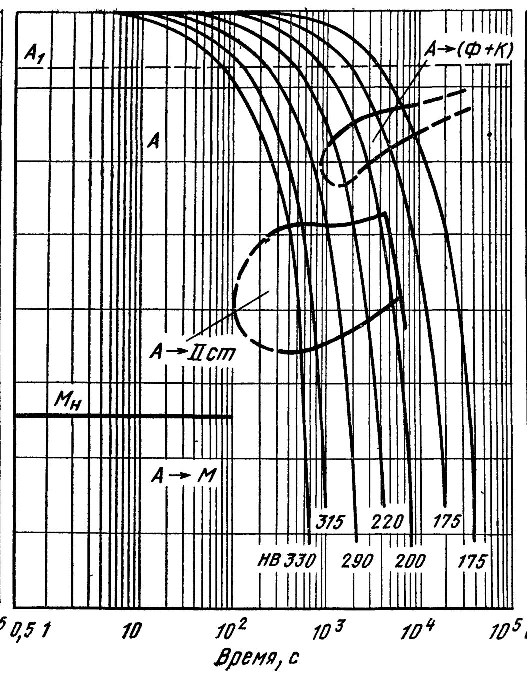

Рис VI 36 Термокинетическая диаграмма распада переохлажденного аустенита стали 5ХНВ (0 56% C, 0,23% Si, 0,59% Mn, 0 6% Cr, 1,6% Ni, 0,78% **W,** A_1=735° C, $M_н$=250° C, $t_{ауст}$=900° C)

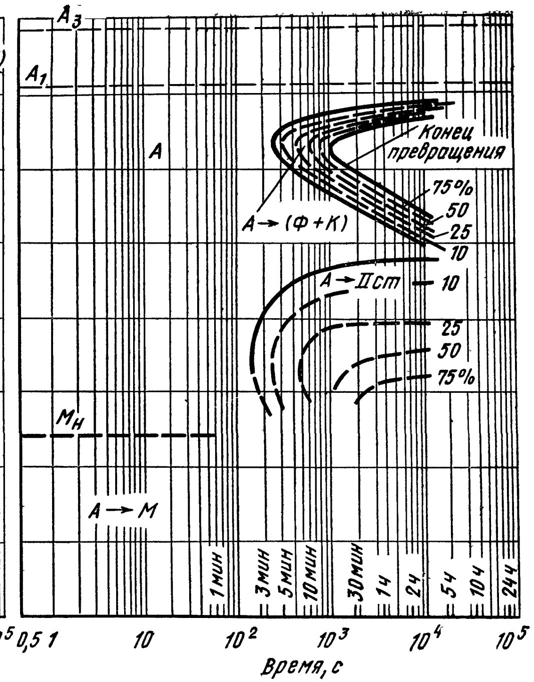

Рис VI 37 Диаграмма изотермического превращения аустенита стали 5ХНСВ (0 57% C 0 9% Si, 0,46% Mn, 1 34% Cr, 1 16% Ni, 0 47% W, A_1=710° C, $M_н$=250° C, $t_{ауст}$=870° C)

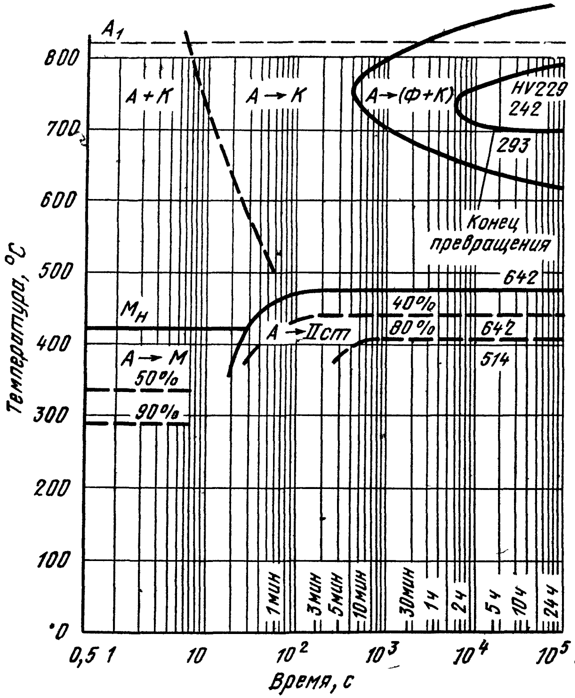

Рис. VI.38. Диаграмма изотермического превращения аустенита стали 3Х2В8Ф (0,28% C; 0,11% Si; 0,36% Mn; 2,57% Cr; 8,88% W; 0,36% V; A_1=820° C; $M_н$=420° C; $t_{ауст}$=1100° C)

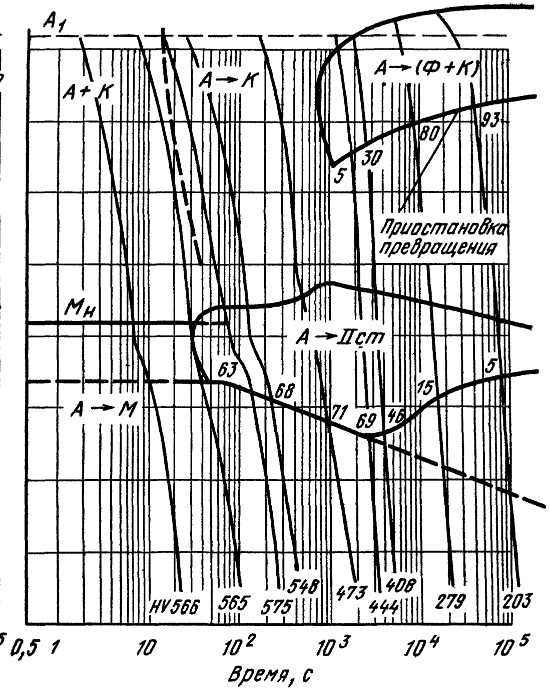

Рис. VI 39 Термокинетическая диаграмма распада переохлажденного аустенита стали 3Х2В8Ф (0,28% C, 0,11% Si; 0,36% Mn; 2,57% Cr; 8,88% W; 0,36% V; A_1=820° C; $M_н$=420° C; $t_{ауст}$=1100° C)

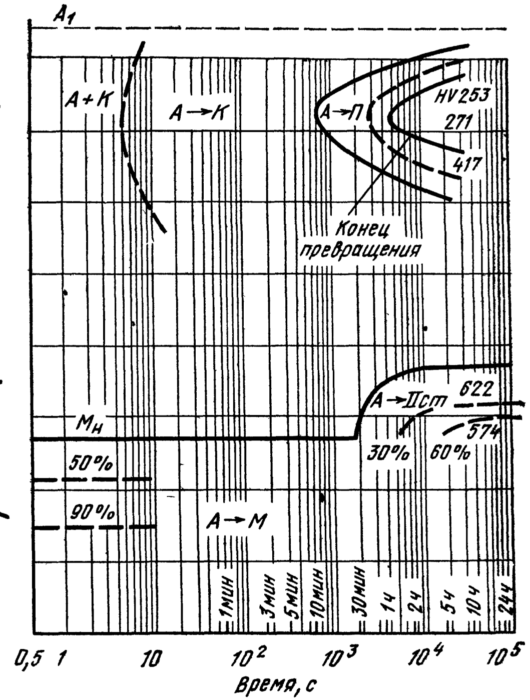

Рис. VI 40. Диаграмма изотермического превращения аустенита стали 4Х5МФС (0,39% C; 0,94% Si; 0,48% Mn, 5,53% Cr, 0,87% Mo, 0,48% V, $M_н$= =370° C; $t_{ауст}$=1100° C)

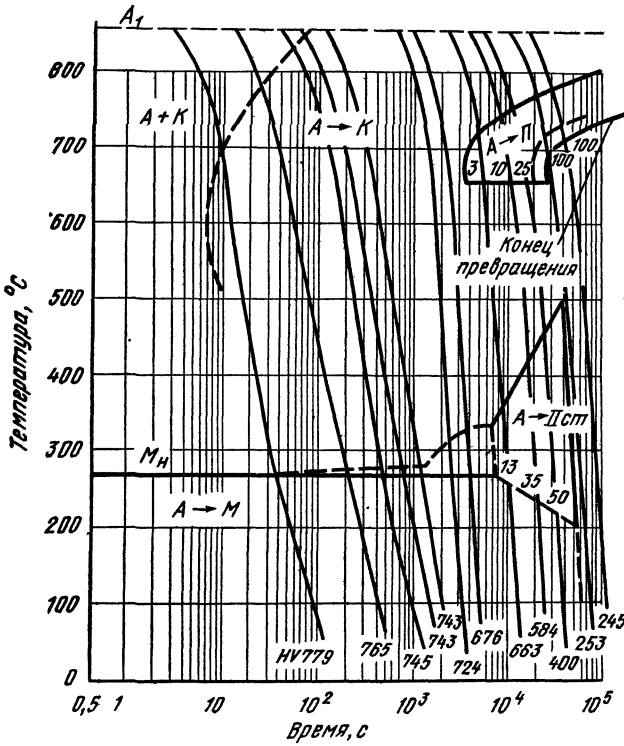

Рис. VI.41. Термокинетическая диаграмма распада переохлажденного аустенита стали 4Х5МФС (0,39% C; 0,94% Si; 0,48% Mn; 5,53% Cr; 0,87% Mo; 0,48% V; $M_н$=370° C; $t_{ауст}$=1100° C)

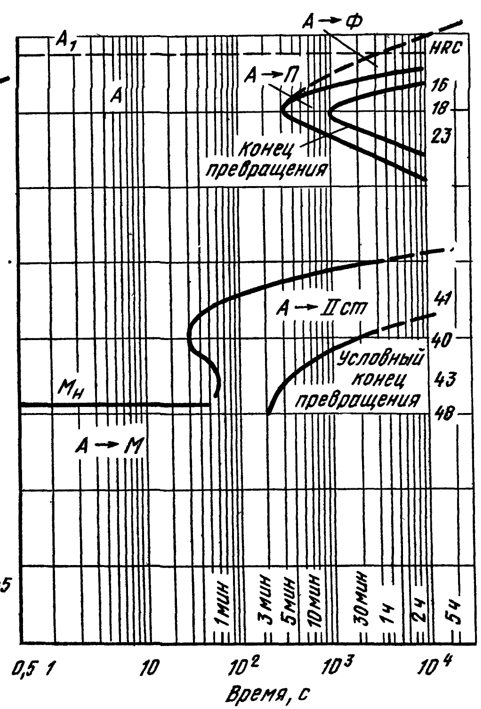

Рис. VI.42. Диаграмма изотермического распада аустенита стали 4ХВ2С (0,4% C; 0,72% Si; 0,27% Mn; 1,2% Cr; 0,17% Ni; 1,85% W; A_1=780° C; $M_н$=315° C; $t_{ауст}$=900° C)

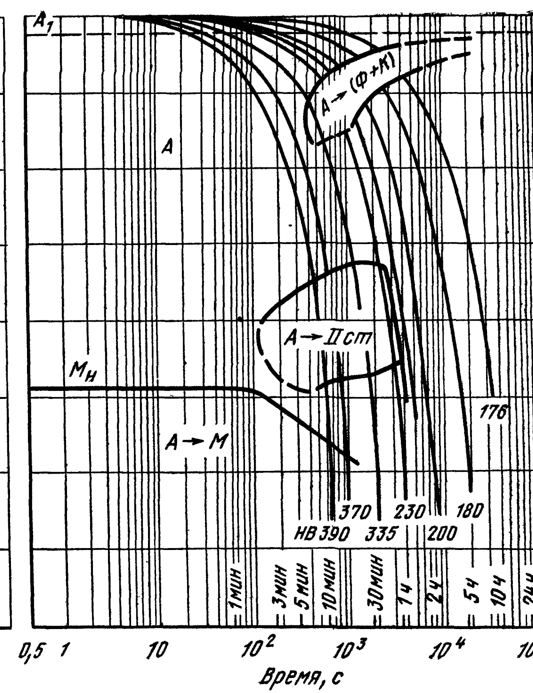

Рис. VI.43. Термокинетическая диаграмма распада переохлажденного аустенита стали 4ХВ2С (0,4% C; 0,72% Si; 0,27% Mn; 1,2% Cr; 0,17% Ni; 1,85% W; A_1=780° C; $M_н$=315° C; $t_{ауст}$=900° C)

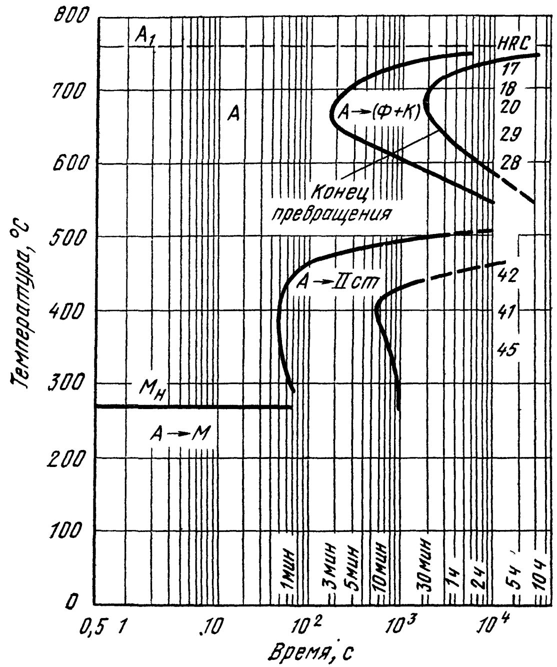

Рис. VI.44. Диаграмма изотермического превращения аустенита стали 6ХВ2С (0,58% C; 0,55% Si; 0,32% Mn; 1,27% Cr; 0,23% Ni; 2,25% W; A_1=765° С; $M_н$=270° С; $t_{ауст}$=900° С)

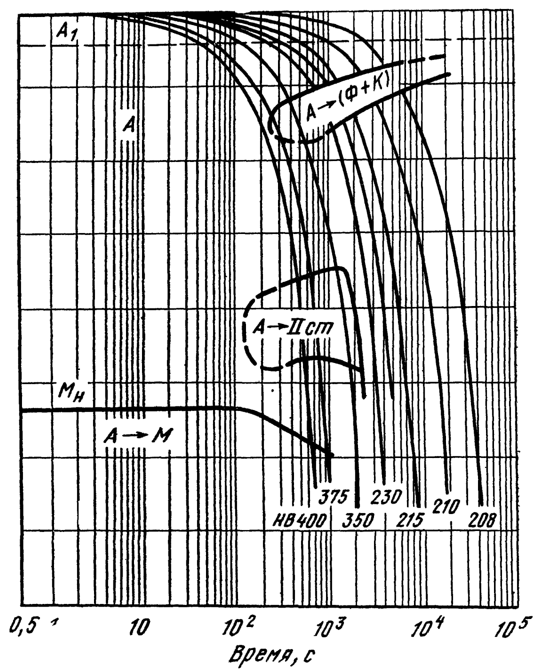

Рис. VI.45. Термокинетическая диаграмма распада переохлажденного аустенита стали 6ХВ2С (0,58% C; 0,55% Si; 0,32% Mn; 1,27% Cr; 0,23% Ni; 2,25% W; A_1=765° С; $M_н$=270° С; $t_{ауст}$=900° С)

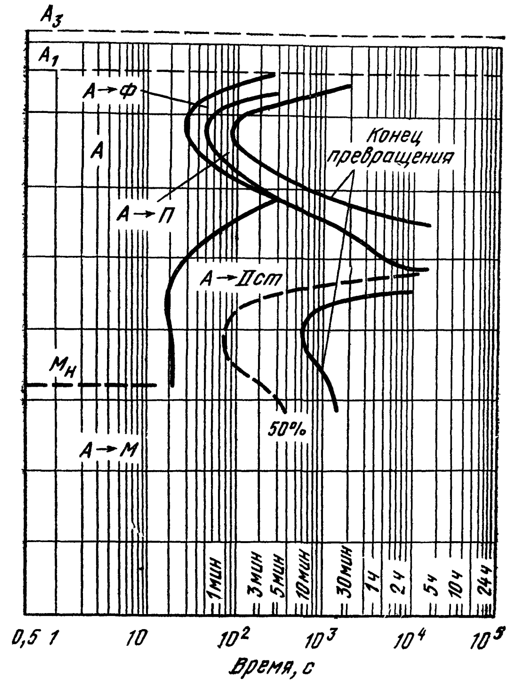

Рис. VI.46. Диаграмма изотермического превращения аустенита стали 4ХС (0,4% C; 1,52% Si; 0,42% Mn; 1,24% Cr; $M_н$=315° С; $t_{ауст}$=900° С)

Таблица VI.18

Температуры отжига и высокого отпуска сталей для штампов горячего деформирования

Марка стали	Отжиг		Изотермический отжиг			Высокий отпуск	
	температура нагрева, °С	твердость НВ	температура, °С: нагрева	температура, °С: изотермической выдержки	твердость НВ, не более	температура нагрева, °С	твердость НВ, не более
3Х2В8Ф	860—880	207—255	860—880	660—700	241	750—780	269
7Х3	800—820	187—229	—	—	—	680—710	241
8Х3	800—820	207—255	—	—	—	680—710	265
5ХНМ	760—790	197—241	—	—	—	650—690	241
5ХНВ	760—790	197—241	—	—	—	650—690	241
5ХНСВ	790—820	207—255	—	—	—	690—720	255
5ХГМ	760—790	197—241	—	—	—	650—690	241
4ХСМФ	800—820	207—255	—	—	—	690—720	255
5Х5В4СМ	830—850	207—255	830—850	660—680	241	750—780	269
4Х2В5ФМ	850—860	207—241	850—860	660—700	229	750—780	269
4Х5В2ФС	850—860	197—229	850—860	660—700	229	750—780	269
4Х5МФС	830—850	207—255	830—850	660—680	241	730—760	269
4Х5МФ1С	830—850	207—255	830—850	660—680	241	730—760	269
4Х3ВМФ	850—860	197—229	850—860	660—700	229	750—780	269
4Х4МВФС	860—890	197—229	860—890	660—680	229	750—780	269
3Х3М3Ф	830—850	207—255	830—850	660—680	241	750—780	269
4Х2СВ2МФ	830—850	207—255	830—850	660—680	241	750—780	269
5Х3В3МФС	860—890	197—229	860—890	660—680	229	750—780	269
4ХС	820—840	207—255	820—840	650—670	241	700—740	255
6ХС	820—840	207—255	820—840	650—670	241	700—730	255
4ХВ2С	800—820	207—255	800—820	650—670	241	750—780	255
5ХВ2С	800—820	207—255	800—820	650—660	241	750—780	255
6ХВ2С	780—800	229—269	800—820	650—660	241	750—780	255

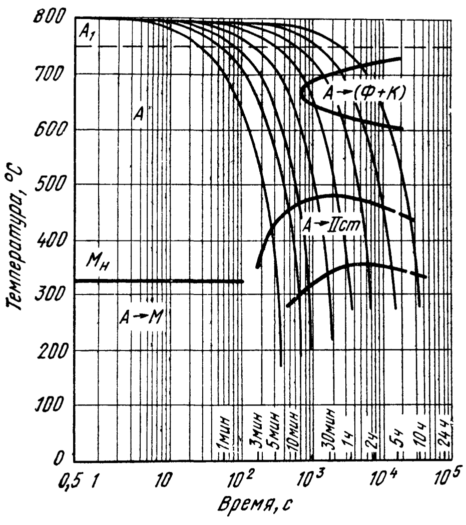

Рис. VI.47. Термокинетическая диаграмма распада переохлажденного аустенита стали 4ХС (0,41% С; 1,32% Si; 0,5% Mn; 1,41% Cr; $M_н$=315° С; $t_{ауст}$=900° С)

В табл. VI.17 и VI.18 указаны значения критических точек и температуры отжига и высокого отпуска штамповых сталей. Для предварительной термической обработки (отжига и высокого отпуска) поковок штампового инструмента используют камерные и проходные электрические и газовые печи. Температура печи при загрузке поковок не должна превышать 600° С. При расположении поковок в печи в один ряд продолжительность выдержки определяют ориентировочно из расчета: при температуре отжига 1 ч+1,5 мин на 1 мм толщины; при температуре изотермической выдержки 1,5 ч+2 мин на 1 мм толщины; при высоком отпуске 2 ч+ +1,5 мин на 1 мм толщины.

Влияние температуры отпуска на механические свойства сталей для штампов горячего деформирования показано на рис. VI.49—VI.51.

С помощью отпуска можно достигнуть твердости поверхности гравюры, соответствующей принятым в отечественной практике нормам.

Нормы твердости (НВ) для молотовых штампов и их деталей, устанавливаемые в зависимости от усилия молота (точнее, от связанного с ним размера штампа), приведены ниже:

Штампы для молотов усилием, тс:

1 (легкие)	388—444
1—3 (средние)	352—388
3—4 (полутяжелые)	321—368
4—6 (тяжелые)	311—341
>6 (особо тяжелые)	293—321

Блоки штампов со вставками для молотов усилием, тс:

⩽2	321—368
2—4	311—341
⩽2 (литые)	321—368

Вставки для молотов усилием, тс:

⩽2	388—444
2—4	352—388
>4	321—368

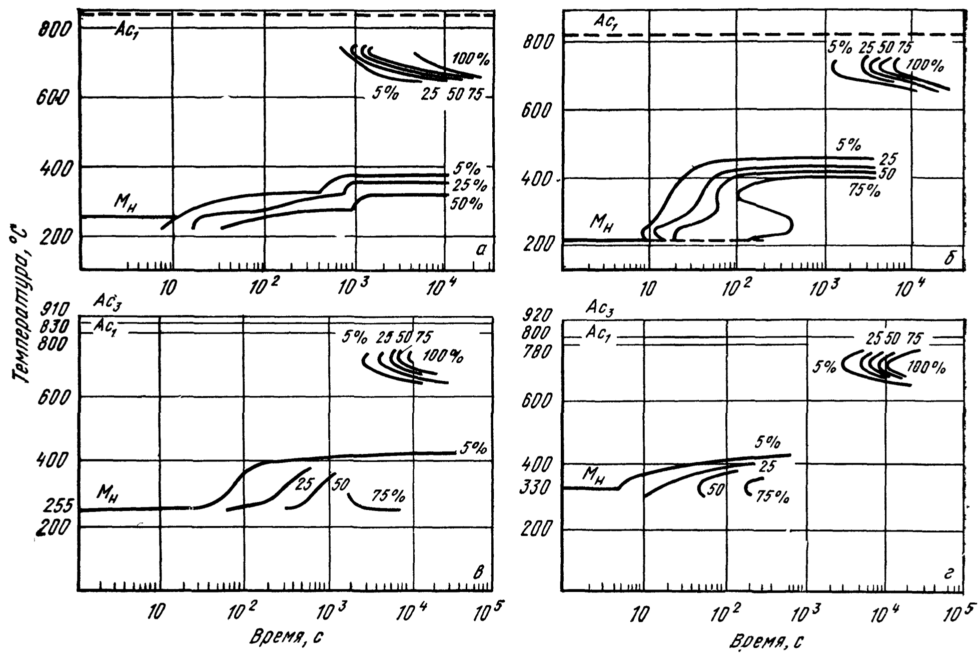

Рис. VI.48. Диаграммы изотермического превращения аустенита стали марок: *а* — 4Х5В2ФС ($t_{ауст}$ = 1030° С); *б* — 4Х2В5ФМ ($t_{ауст}$ = 1070° С); *в* — 4Х4МВФС ($t_{ауст}$ = 1050° С); *г* — 5Х3В3МФС ($t_{ауст}$ = 1100° С)

Как видно из приведенных данных, твердость поверхности гравюры с увеличением усилия молота понижается; при этом руководствуются требованием более высокой вязкости вследствие увеличения динамичности нагрузки и возможностями изготовления. Понижение твердости, а вместе с ней и прочности приводит к тому, что на крупных молотах выход штампов из строя по смятию встречается более часто, чем на малых.

При установлении норм твердости для прессовых штампов исходят из назначения инструмента. Рекомендуются следующие значения твердости (НВ) для различных деталей штампов:

Ручьевые вставки:	
штамповочных ручьев	363—415
заготовительных ручьев	352—388
Вставные детали ручьевых вставок	388—444

Для горизонтально-ковочных машин нормы твердости (НВ) устанавливают в зависимости от назначения детали и усилия машины:

Матрицы цельные для машин усилием, тс:	
200	388—444
400	368—415
600	352—388
⩾600	321—368

Продолжение

Вставки матриц:	
зажимные	368—415
пережимные	368—415
формовочные крупные	352—388
формовочные средние и мелкие	388—444
Пуансоны наборные:	
крупные	352—388
мелкие	368—415
Пуансоны формовочные:	
крупные	352—388
мелкие	368—415
Пуансоны прошивные	388—444

Такие методы установления норм твердости учитывают два основных фактора: 1) условия работы и конфигурацию штампа; 2) примерную нагрузку на деталь штампа, хотя и очень приблизительно. О последнем свидетельствуют весьма широкие интервалы рекомендуемых норм — на 20, 30 и даже 40 единиц твердости — для данного вида инструмента.

Для определения необходимой прочности штампа (кгс/мм²) может быть использована расчетная формула, полученная на основании анализа большого количества производственных данных:

$$\sigma_в = \left[1 + \frac{3216}{(67 + h)(64 + V)}\right] 10^2,$$

где h — глубина гравюры, мм; V — объем штампового кубика, дм³.

Согласно этой формуле, на рекомендуемый предел прочности влияют два факто-

Таблица VI.19

Режимы окончательной термической обработки деталей штампового инструмента для горячего деформирования

Марка стали	Закалка				Отпуск*			
	температура подогрева, °C	температура окончательного нагрева, °C	способы охлаждения**	твердость HRC	температура нагрева, °C	твердость: диаметр отпечатка, мм	HB	HRC
1	2	3	4	5	6	7	8	9
3Х2В8Ф	840—860	1130—1160	I, II	52—56	600—630	2,75—2,85	452—495	47—50
					630—660	2,85—3,00	415—461	44—48
					660—680	2,95—3,15	375—429	40—45
	840—860	1070—1100	I, II IV	48—52	580—600	2,75—2,85	452—495	47—50
					600—620	2,85—3,00	415—461	44—48
					620—640	2,95—3,15	375—429	40—45
7Х3	650—700	850—880	III, IV	54—60	400—450	2,7—2,85	461—514	48—52
					450—490	2,85—3,00	415—461	44—48
					490—530	2,95—3,15	375—429	40—45
					530—620	3,15—3,60	286—375	30—40
8Х3	650—700	850—880	III, IV	55—61	470—520	2,7—2,85	461—514	48—52
					520—560	2,85—3,00	415—461	44—48
					560—600	2,95—3,15	375—429	40—45
5ХНМ, 5ХГМ	600—650	830—860	III, IV	56—60	380—420	2,7—2,85	461—514	48—52
					420—500	2,85—3,00	415—461	44—48
					500—550	2,95—3,15	375—429	40—45
					550—650	3,15—3,60	286—375	30—40
5ХНВ	600—650	860—880	III, IV	56—60	360—420	2,7—2,85	461—514	48—52
					420—460	2,85—3,00	415—461	44—48
					480—560	2,95—3,15	375—429	40—45
					560—600	3,15—3,40	321—375	35—40
5ХНСВ	600—650	860—880	III, IV	56—60	420—480	2,70—2,85	461—514	48—52
					480—540	2,85—3,00	415—461	44—48
					540—600	2,95—3,15	375—429	40—45
5ХГСВФ	600—650	860—890	III, IV	56—60	400—500	2,7—2,85	461—514	48—52
					500—560	2,85—3,00	415—461	44—48
					560—620	2,95—3,15	375—429	40—45
					620—680	3,15—3,60	286—375	30—40
4ХСМФ	650—700	900—930	III, IV	55—59	500—550	2,7—2,85	461—514	48—52
					550—600	2,85—3,05	401—452	42—47
4Х5В4ФСМ	840—860	1060—1080	I, II	54—58	560—600	2,7—2,85	461—514	48—52
					600—630	2,85—3,00	415—461	44—48
					630—650	2,95—3,15	375—429	40—45
4Х5В2ФС	840—860	1030—1050	I, II	52—56	540—560	2,6—2,70	514—545	52—55
					560—580	2,7—2,85	461—514	48—52
					580—600	2,85—3,00	415—461	44—48
					600—620	2,95—3,15	375—429	40—45
4Х2В5ФМ	850—870	1080—1110	I, II	53—57	620—650	2,75—2,85	461—485	48—50
					650—670	2,85—3,00	415—461	44—48
					670—700	2,95—3,15	375—429	40—45
	850—870	1060—1080	I, II	50—55	600—620	2,75—2,85	461—495	48—50
					620—650	2,85—3,00	415—461	44—48
					650—670	2,95—3,15	375—429	40—45
4Х5МФС	840—860	1000—1020	I, II	50—55	520—550	2,6—2,70	514—545	52—55
					550—570	2,7—2,85	461—514	48—52
					570—590	2,85—3,00	415—461	44—48
					590—620	2,95—3,15	375—429	40—45
4Х5МФ1С	840—860	1020—1040	I, II	52—56	540—560	2,6—2,70	514—545	52—55
					560—580	2,7—2,85	461—514	48—52
					580—600	2,85—3,00	415—461	44—48
					600—630	2,95—3,15	375—429	40—45

Марка стали	Закалка				Отпуск*			
	температура подогрева, °С	температура окончательного нагрева, °С	способы охлаждения**	твердость HRC	температура нагрева, °С	твердость		
						диаметр отпечатка, мм	HB	HRC
1	2	3	4	5	6	7	8	9
4Х3ВМФ	840—860	1040—1060	I, II	52—56	550—570 570—600 600—620 620—650	2,6—2,70 2,7—2,85 2,85—3,00 2,95—3,15	514—545 461—514 415—461 375—429	52—55 48—52 44—48 40—45
4Х4МВФС	840—860	1050—1070	I, II	55—60	520—540 540—580 580—620 620—640 640—670	2,6—2,65 2,65—2,70 2,7—2,85 2,85—3,00 2,95—3,15	534—565 514—534 461—514 415—461 375—429	54—56 52—54 48—52 44—48 40—45
3Х3М3Ф	840—860	1030—1050	I, II	47—53	550—580 580—610	2,7—2,85 2,85—3,00	461—514 415—461	48—52 44—48
4Х2СВ2МФ	840—860	1080—1100	I, II	55—60	560—600 600—640	2,7—2,80 2,75—2,95	477—514 429—496	48—53 45—50
5Х3В3МФС	850—870	1120—1140	I, II	53—56	540—560 600—620 620—650 650—680	2,6—2,65 2,7—2,85 2,85—3,00 2,95—3,15	534—545 461—514 415—461 375—429	54—56 48—52 44—48 40—45
4ХС	650—700	880—890	III, IV	47—53	200—280 280—450 450—650 650—680	2,75—2,95 2,95—3,15 3,15—3,60 3,6—3,85	429—495 375—429 286—375 248—286	45—55 40—45 30—40 25—30
4ХВ2С	650—700	940—960	III, IV	53—56	360—420 420—460 460—520	2,75—2,85 2,85—3,00 2,95—3,15	452—495 415—461 375—429	47—55 44—45 40—45
5ХВ2С	650—700	940—960	III, IV	55—58	360—420 420—460 460—520	2,75—2,85 2,85—3,00 2,95—3,15	452—495 415—461 375—429	47—55 44—45 40—45
6ХВ2С	650—700	940—960	III, IV	57—60	380—430 430—470 470—550	2,75—2,85 2,85—3,00 2,95—3,15	452—495 415—461 375—429	47—55 44—45 40—48
6ХС	650—700	860—900	III, IV	55—60	350—400 400—450	2,85—3,00 2,95—3,15	415—461 375—429	44—48 40—45

* Для высоколегированных сталей рекомендуется второй отпуск осуществлять при температуре на 20—30° С ниже, чем первый.

** Способы охлаждения: I — подстуживание на воздухе до 900—950° С, затем охлаждение в масле до 200—230° С, далее на воздухе; II — подстуживание на воздухе до 900—950° С, затем охлаждение в смеси расплавленных солей при температуре 450—500° С с выдержкой до полного выравнивания температуры по сечению, после чего охлаждение в масле до 200—230° С и далее на воздухе; III — охлаждение в масле до 200—230° С, далее на воздухе, IV — охлаждение в смеси расплавленных солей при температуре 450—500° С с выдержкой до полного выравнивания температуры по сечению, затем охлаждение в масле до 200—230° С и далее на воздухе.

ра: объем кубика и глубина гравюры, причем на мелкие штампы сильнее сказывается влияние глубины гравюры, а на крупные — объема кубика.

При назначении норм твердости можно руководствоваться номограммами, устанавливающими значение твердости или прочности штампа в зависимости от глубины гравюры и массы штампового кубика. Пример такой номограммы показан на рис. VI.52.

В табл. VI.19 представлены режимы окончательной термической обработки сменного штампового инструмента.

Нагрев сменного штампового инструмента под закалку производят в соляных электродных и тигельных ваннах или камерных электрических и газовых печах (в зависимости от габаритных размеров инструмента). Мелкий штамповый инструмент (диаметром до 120 и длиной до 250 мм) наиболее целесообразно нагре-

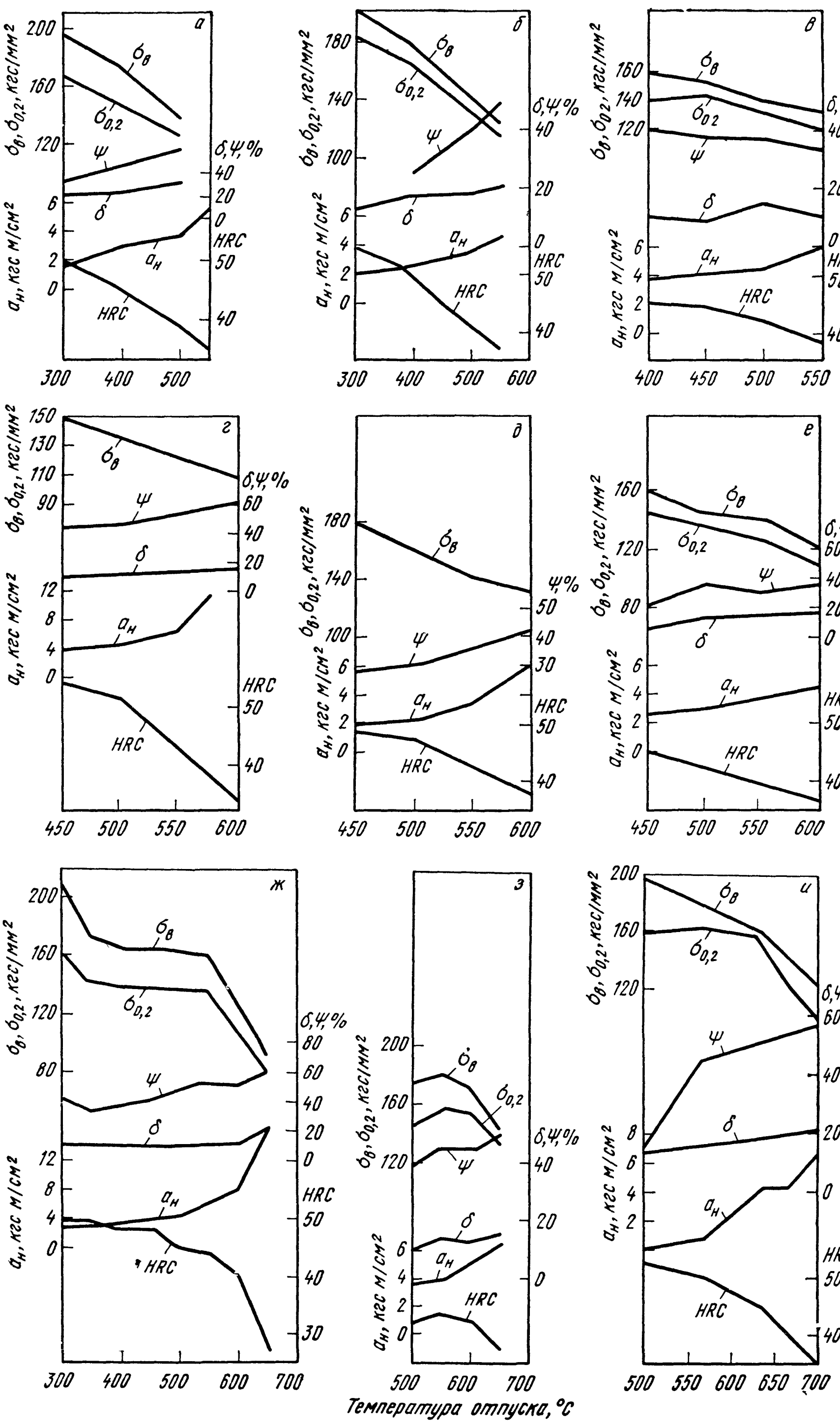

Рис. VI.49. Влияние температуры отпуска на механические свойства стали различных марок:
а — 7Х3 (закалка с 870° С); б — 8Х3 (закалка с 870° С); в — 5ХНМ (закалка с 850° С); г — 5ХНВ (закалка с 870° С); д — 5ХНВС (закалка с 870° С); е — 5ХГМ (закалка с 850° С); ж — 4ХМФС (закалка с 920° С); з — 5Х2МНФ (закалка с 980° С); и — 4Х5В2ФС (закалка с 1040° С)

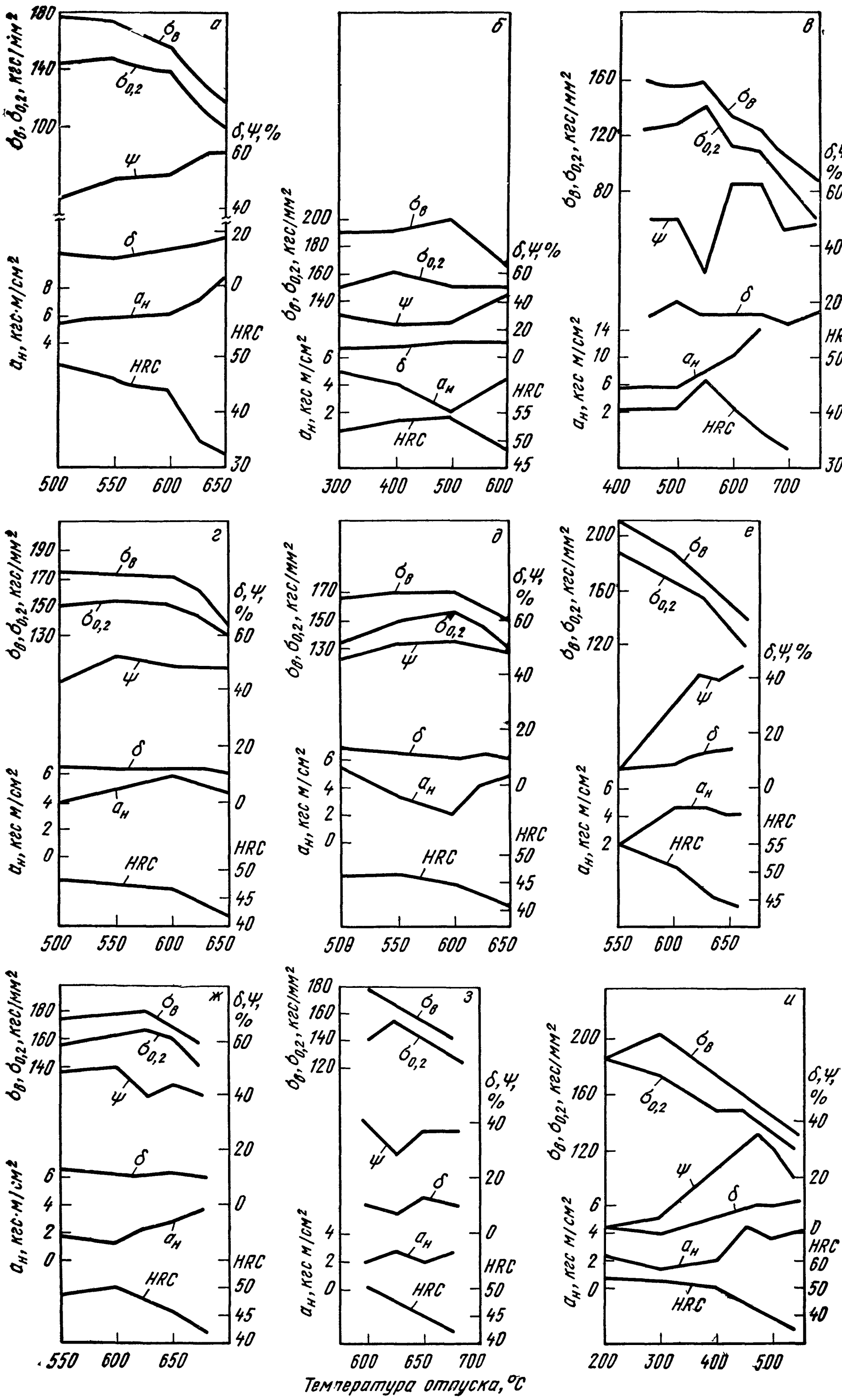

Рис. VI 50. Влияние температуры отпуска на механические свойства стали различных марок: *а* — 4Х5МФС (закалка с 1000° С); *б* — 4Х5МФ1С (закалка с 1020° С); *в* — 2Х9В6 (закалка с 1140° С); *г* — 4Х3ВМФ (закалка с 1060° С); *д* — 3Х3М3Ф (закалка с 1040° С); *е*—4Х4ВМФС (закалка с 1060° С); *ж* — 4Х2В5МФ (закалка с 1080° С); *з* — 3Х2В8Ф (закалка с 1130° С); *и* — 6ХВГ (закалка с 870° С)

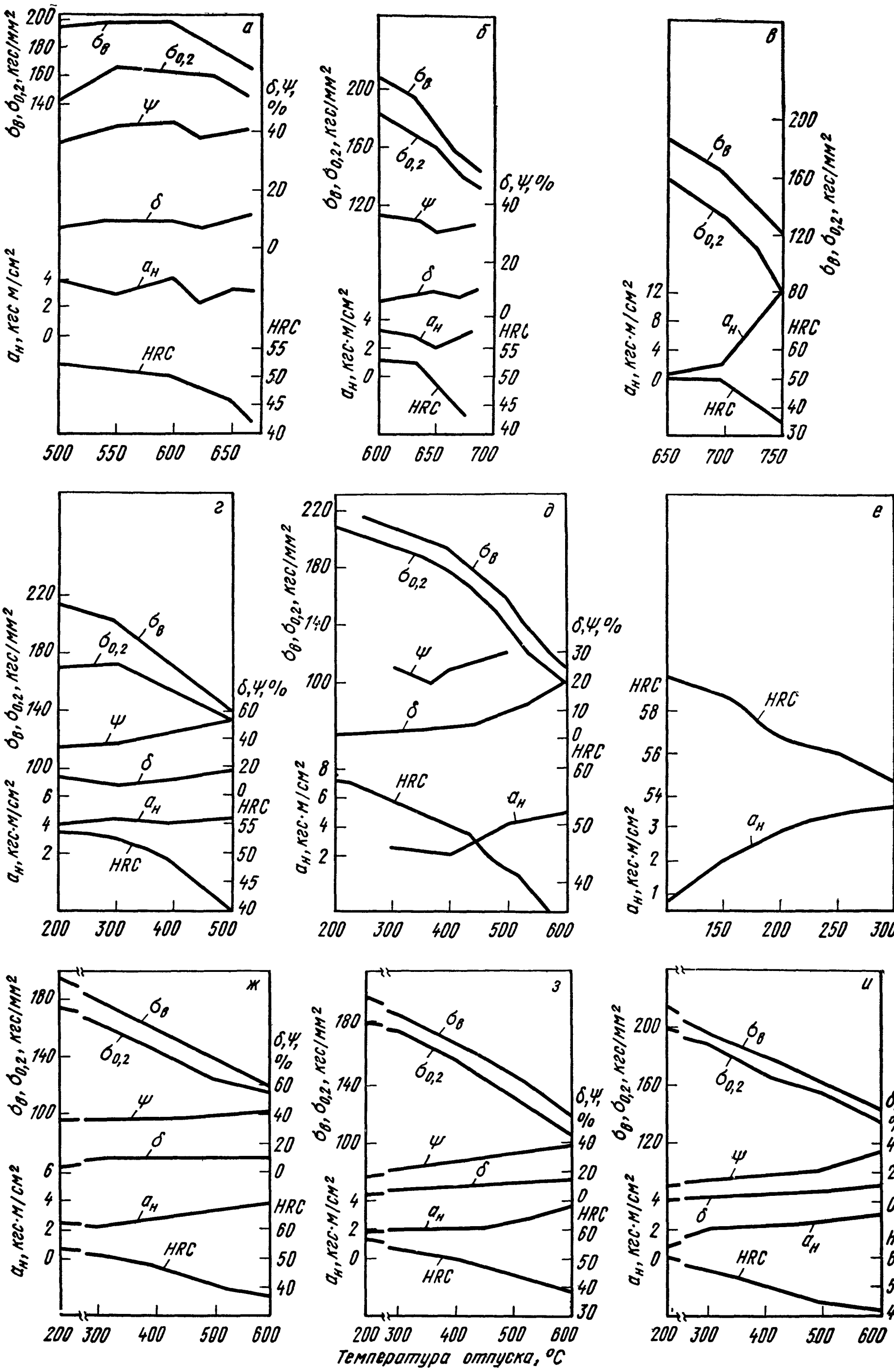

Рис. VI 51. Влияние температуры отпуска на механические свойства стали различных марок: *а* — 4Х2В2МФС (закалка с 1080° С); *б* — 5Х3В3МФС (закалка с 1150° С); *в* — 2Х6В8М2К8 (закалка с 1200° С); *г* — 4ХС (закалка с 900° С); *д* — 6ХС (закалка с 880° С); *е* — 6Х3ФС (закалка с 1000° С); *ж* — 4ХВ2С (закалка с 880° С); *з* — 5ХВ2С (закалка с 880° С); *и* — 6ХВ2С (закалка с 880° С) вать под закалку в соляных ваннах. Этот способ нагрева не требует защиты рабочей поверхности инструмента от окисления и обезуглероживания и является наиболее экономичным. Нагрев в соляных ваннах позволяет успешно проводить закалку инструмента, прошедшего окончательную механическую обработку.

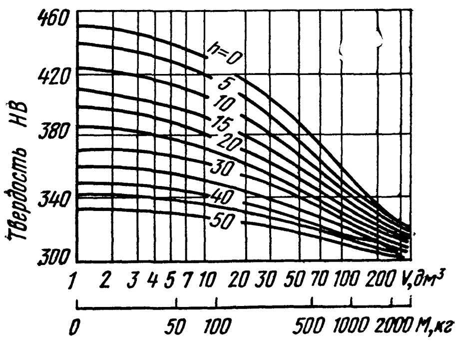

Рис. VI.52. Номограмма для определения рекомендуемой твердости штампа в зависимости от глубины гравюры h и массы штампового кубика M (или его объема V)

Обычно штамповый инструмент, подвергаемый при предварительной термической обработке отжигу, закаливают с температур, соответствующих верхнему пределу указанных в табл. VI.19 температурных интервалов закалки (для более полного растворения специальных карбидов). И, наоборот, штамповый инструмент после высокого отпуска (при предварительной термической обработке) закаливают, как правило, с температур, соответствующих нижнему пределу указанных температурных интервалов закалки.

При нагреве под закалку продолжительность выдержки штампового инструмента в соляных ваннах выбирают из следующего расчета:

при подогреве в интервале 650—850° С и при окончательном нагреве (после предварительного подогрева) в интервале 820—950° С — 18—24 с на 1 мм толщины детали (наименьшего размера наибольшего сечения);

при окончательном нагреве (после предварительного подогрева) в интервале 1000—1150° С — 12—15 с на 1 мм толщины детали для штамповых сталей с общим легированием вольфрамом, молибденом и ванадием не более 2,5%; 20—30 с на 1 мм для штамповых сталей с общим легированием вольфрамом, молибденом и ванадием 2,5—4,0%; до 35—45 с на 1 мм для штамповых сталей с общим легированием указанными элементами свыше 4%.

При нагреве штампового инструмента под закалку в камерных печах продолжительность выдержки обычно подбирают опытным путем в зависимости от способа упаковки деталей инструмента, величины ящика, мощности печи и т. д. Без учета времени прогрева можно принимать продолжительность выдержки в печи из расчета 50—70 с на 1 мм толщины.

Для повышения ударной вязкости штамповый инструмент из высоколегированных сталей подвергают двукратному или многократному отпуску. Температуру повторного отпуска обычно выбирают на 30—50° С ниже температуры первого отпуска. Продолжительность выдержки при отпуске назначают из расчета 2 ч плюс 1,5 мин на 1 мм толщины деталей (при расположении штампового инструмента в печи в один ряд).

Для повышения сопротивления напряжениям изгиба и ударным нагрузкам крепежную (опорную) часть деталей штампового инструмента обрабатывают на меньшую твердость, чем рабочую часть (на 50—100 единиц HB). С этой целью крепежную часть дополнительно отпускают при температурах 600—700° С. Для предотвращения отпускной хрупкости охлаждение штампового инструмента после отпуска осуществляют ускоренно: на воздухе или в масле.

Для отпуска штампового инструмента используют нагревательные печи с точным регулированием температуры (до +10° С),

Таблица VI.20

Режимы азотирования штампового инструмента

Марка стали	Температура, °С	Продолжительность, ч	Среда	Диффузионный слой: глубина, мм	Диффузионный слой: микротвердость, кгс/мм²
3Х2В8Ф	560—580	8—12	Аммиак (α=45—65%)	0,18—0,25	1020—580
7Х3, 8Х3	480—500	50	Аммиак (α=25—35%)	0,35—0,40	600—750
5ХНМ, 5ХНВ, 5ХНВС, 5ХГМ	480—500	25—50	То же	0,2—0,40	890—570
4ХМФС, 5Х2МНФ	490—510	20—30	» »	0,3—0,40	1200—700
4Х5В2ФС	530—550	12—20	Аммиак (α=30—60%)	0,12—0,20	1115—650
4Х5МФС, 4Х5МФ1С, 4Х3ВМФ, 3Х3М3Ф	530—550	12—20	То же	0,15—0,20	960—550
4Х4ВМФС	550—560	12—15	Аммиак (α=45—60%)	0,2—0,25	860—740
4Х2В5МФ	560—580	8—12	То же	0,1—0,17	1060—730
4Х2В2МФС	550—560	12—18	» »	0,12—0,25	900—680
5Х3В3МФС	560—580	8—12	» »	0,15—0,20	1060—660

Таблица VI.21

Режимы цианирования штампового инструмента

Марка стали	Температура, °С	Продолжительность, ч	Диффузионный слой	
			глубина, мм	микротвердость, кгс/мм²
В расплаве 50% KCN+50% NaCN				
3Х2В8Ф	560	2	0,09	980—660
5ХНМ, 5ХНВ, 5ХНВС, 5ХГМ	560	2	0,2—0,25	570—350
4ХМФС	560	2	0,05	860—760
5Х2МНФ	560	2	0,05	830—620
4Х5В2ФС, 4Х5МФС, 4Х5МФ1С	560	2	0,06	710—600
4Х3ВМФ	560	2	0,06	930—740
3Х3М3Ф	560	2	0,15	1200—970
4Х4ВМФС	560	2	0,03—0,04	830—680
4Х2В5МФ	560	2	0,03—0,04	830—680
4Х2В2МФС	560	2	0,09	615—535
5Х3В3МФС	560	2	0,07	940—860
В смеси саратовского газа и аммиака				
4ХМФС, 5Х2МНФ, 4Х5В2ФС, 4Х5МФС, 4Х5МФ1С	580	8	0,23—0,27	900—660
4Х3ВМФ	580	8	0,25—0,30	700—600
3Х3М3Ф	580	8	0,25—0,30	1200—825
4Х4ВМФС	580	8	0,18—0,20	980—680
4Х2В5МФ, 4Х2В2МФС	580	8	0,2—0,25	740—640

обеспечивающие равномерное распределение температуры по рабочей зоне. К их числу относят камерные электрические печи с устройствами для обеспечения постоянной циркуляции печной атмосферы, печи-ванны с расплавленными солевыми смесями и др.

После закалки и отпуска штамповый инструмент можно подвергать азотированию или цианированию на глубину 0,1—0,3 мм, повышающим стойкость штампов против истирания в 1,5—2 раза. Режимы азотирования и цианирования штампового инструмента представлены в табл. VI.20 и VI.21.

Выбор стали для штампов горячего деформирования

При выборе стали для изготовления штампов горячего деформирования особое внимание уделяют типу оборудования и условиям эксплуатации инструмента.

Стали для молотовых штампов. Для изготовления молотовых штампов наиболее широко применяют хромоникелевые стали с повышенным (до 0,6%) содержанием углерода; при этом чаще всего используют стали марок 5ХНМ, 5ХНВ, 5ХНСВ, входящие в ГОСТ 5950—73, и реже — другие стали с близким химическим составом. Высокие прокаливаемость, сопротивление хрупкому разрушению и прочность (при средней твердости HRC40—45) хромоникелевых сталей позволяют применять их для изготовления средних и крупных цельных молотовых штампов.

Дешевыми заменителями хромоникелевых сталей являются хромомарганцовистые стали марок 5ХГМ, 6ХВГ и т. п. Из-за меньшей теплостойкости и более низких технологических свойств (низкой устойчивости против перегрева, прокаливаемости, повышенной склонности к отпускной хрупкости) хромомарганцовистые стали следует применять для изготовления мелких и средних молотовых штампов (сечением до 300×300 мм).

Учитывая пониженные теплостойкость и особенно износостойкость хромоникелевых и хромомарганцовистых сталей, в последнее время для изготовления тяжелонагруженных молотовых штампов предложены новые стали с повышенным содержанием хрома, дополнительно легированные молибденом, кремнием или ванадием, например стали марок 5Х3СМ, 5Х2МФ и т. п., а также многокомпонентные среднелегированные стали марок 4ХСМФ, 5ХГСВФ, 5ХГСМФ, 5Х2ВМНФ и др. Их следует применять для изготовления цельных молотовых штампов массой не более 5 т со сравнительно простой гравюрой. Это связано с тем, что наряду с повышенными теплостойкостью, горячей прочностью и износостойкостью многокомпонентные стали имеют худшие технологические свойства: требуется более высокий нагрев под закалку, понижены прокаливаемость и обрабатываемость резанием.

ГОСТ 5950—73 рекомендует применять для изготовления мелких цельных молотовых штампов при штамповке поковок из труднодеформируемых материалов высоколегированную сталь марки 4Х3ВМФ, а для изготовления вставок средних и крупных молотовых штампов — стали марок 4Х3ВМФ, 4Х5В2ФС, 4Х5МФС, 4Х5МФ1С и 4Х4МВФС. Эти стали после термической обработки на высокую твердость (HRC45—50) отличаются высокими теплостойкостью, прочностью и сопротивлением хрупкому разрушению. Они прокаливаются полностью в сечении до 200 мм, но имеют пониженную обрабатываемость и закаливаются с высоких температур. Для этой цели эффективно также применение стали марок 4ХСМФ, 5ХГСВФ, 5Х2ВМНФ и т. п.

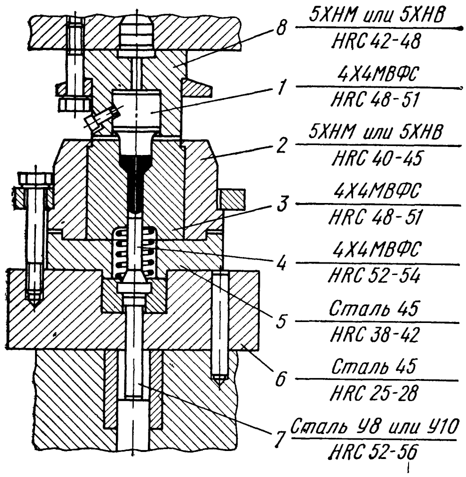

Рис. VI.53. Марки стали и нормы твердости для основных деталей штампа выдавливания поковки пазовой фрезы из стали Р18 на высокоскоростном молоте:

1 — пуансон; *2* — обойма матрицы; *3* — матрица; *4* — выталкиватель; *5* — переходная плита; *6* — опорная плита; *7* — толкатель; *8* — блок пуансона

Вставки для сборных молотовых штампов, предназначенные для штамповки поковок из труднодеформируемых материалов, следует изготавливать из стали с повышенным содержанием легирующих элементов марок 4Х3ВМФ, 4Х5В2ФС, 4Х5МФС и т. п., а вставки, предназначенные для штамповки поковок из углеродистых и низколегированных конструкционных сталей, алюминиевых и медных сплавов, — из хромоникелевых, хромомарганцовистых и многокомпонентных среднелегированных сталей марок 5ХНМ, 5ХНВ, 5ХГМ, 4ХСМФ и т. п. Только вкладыши — прошивни и наметки — во всех случаях предпочтительно изготавливать из высоколегированной стали марок 4Х5В2ФС, 4Х4МВФС и даже 4Х2В5ФМ или Р18.

Блоки для вставок, эксплуатируемые на молотах малой мощности, следует изготавливать из конструкционной стали марок 40Х или 45Х, а для крупных молотов — из хромоникелевых и хромомарганцовистых сталей. Это правило относится к блокам, не имеющим контакта с деформируемой поковкой. Те же блоки, в которых размещается часть гравюры чернового или чистового ручья, следует изготавливать из таких же марок штамповой стали, какие были рекомендованы выше для цельных молотовых штампов.

Вспомогательные крепежные детали молотовых штампов — штамподержатели, клинья, шпонки и т. п. — изготавливают из конструкционной стали марок 45 и 40Х.

Стали для штампов высокоскоростных молотов. Хромоникелевые и подобные им стали следует применять лишь для изготовления малонагруженных штампов при штамповке осадкой алюминиевых сплавов. Для изготовления крупных и малонагруженных пуансонов, матриц и различных вставок целесообразно использовать стали марок 4Х3ВМФ, 4Х5МФС и 4Х5МФ1С, а более мелкого и ответственного сменного инструмента — стали марок 4Х5В2ФС, 4Х4МВФС. Для штампов высокоскоростных молотов можно применять и высоковольфрамовые стали марок 4Х2В5ФМ или 5Х3В3МФС, отличающиеся повышенной теплостойкостью и износостойкостью, но низким сопротивлением хрупкому разрушению. Однако применять их следует лишь для матриц и вставок простой формы, подверженных очень высокому нагреву. При этом для различных обойм, подкладных плит и другого вспомогательного инструмента используют конструкционные стали марок 45 и 40Х, штамповые хромоникелевые стали марок 5ХНВ, 5ХНМ и т. п.

На рис. VI.53 указаны марки стали и нормы твердости для основных деталей штампа выдавливания пазовой фрезы на высокоскоростном молоте. Стали, применяемые для штампов высокоскоростных молотов в ФРГ, указаны на рис. VI.54.

Стали для штампов винтовых прессмолотов. Для изготовления высадочных и открытых штампов винтовых прессмолотов применяют в основном дешевые среднелегированные хромистые стали марок 7Х3 и 8Х3, а для изготовления правочных штампов — углеродистые марок У7 и У8. Поскольку теплостойкость, износостойкость и разгаростойкость хромистых сталей невелики, при высадке и открытой штамповке поковок из труднодеформируемых сплавов, а также при деформировании в закрытых штампах следует использовать штампы из стали марок 4Х5МФС, 4Х5В2ФС и 4Х4МВФС. Для повышения износостойкости хромистые стали подвергают борированию, а высоколегированные — азотированию.

Стали для высадочных штампов прессов и горизонтально-ковочных машин. Дешевыми марками стали для высадочных штампов являются хромовольфрамовые марок 4ХВ2С, 5ХВ2С (СССР), типа 4ХВ2СФ и т. п (ФРГ, США и др.), хромистые марок 7Х3, 8Х3 (СССР) и хромомолибденовые типа Х4МФ, 6Х4МФ (США), 5Х2ВМФС (ФРГ). Эти стали имеют достаточное сопротивление хрупкому разрушению и высокую разгаростойкость при применении водяного охлаждения. Однако они эффективны лишь для ограниченного круга высадочных штампов: 4ХВ2С, 5ХВ2С, типа 4ХВ2СФ — для мелких пуансонов и матриц горячештамповочных автоматов, 7Х3, 8Х3, типа Х4МФ, 6Х4МФ и 5Х2ВМФС — для крупных наборных пуансонов, цельных зажимных и формовочных полуматриц горизонтально-ковочных машин.

Для изготовления высадочных штампов более эффективно применение стали марок 4Х5МФС, 4Х3ВМФ, 4Х4МВФС и 3Х3М3Ф; и др. — применяют углеродистые, а также среднелегированные хромистые и хромоникелевые стали (У7, 7Х3, 5ХНВ и т. п.). Однако их стойкость невелика, поэтому необходимо применять поверхностное упрочнение (наплавку или борирование) или же высоколегированные стали марок 4Х3ВМФ, 4Х4МВФС и 4Х2СВ2МФ. Стали марок 4Х4МВФС и 4Х2СВ2МФ являются лучшими для изготовления штамповочных валков в том случае, когда на вальцах окончательно оформляют размеры поковки

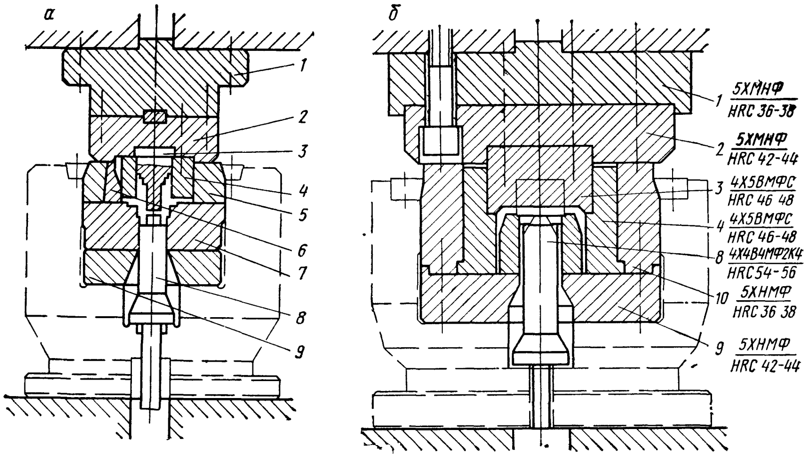

Рис. VI 54. Марки штамповой стали и нормы твердости, рекомендуемые одной из фирм ФРГ для двух типов штампов высокоскоростных молотов:

а — для штамповки выдавливанием; *б* — для закрытой осадки, *1* — верхняя плита; *2* — верхняя опора; *3* — пуансон; *4* — верхняя формующая вставка; *5* — матричная вставка; *6* — вкладыш; *7* — нижняя формующая вставка; *8* — выталкиватель; *9* — нижняя опора; *10* — бандаж

разгаростойкость этих сталей выше разгаростойкости других высоколегированных сталей. При этом сталь марок 4Х5МФС и 4Х3ВМФ следует применять для изготовления крупного, а сталь марок 4Х4МВФС и 3Х3М3Ф — мелкого высадочного инструмента. Для изготовления вставок зажимных и формовочных матриц, находящихся в длительном контакте с нагретым металлом, целесообразно использовать высоковольфрамовые стали марок 4Х2В5МФ и 5Х3В3МФС, а при высадке медных сплавов — 3Х2В8Ф.

Стали для штампов радиально-обжимных машин. Бойки радиально-обжимных машин изготавливают из хромоникелевых (5ХНВ, 5ХНМ) или хромистых (7Х3) сталей. Для обработки труднодеформируемых материалов следует применять наплавку их твердыми сплавами; оправки целесообразно изготавливать из быстрорежущих сталей. Для этой же цели эффективно применение стали марок 4Х3ВМФ, 4Х5В2ФС и 4Х4МВФС (бойки), 4Х4МВФС, 4Х2В5ФМ и 5Х3В3МФС (оправки). При обработке титановых и никелевых сплавов хорошо зарекомендовало себя поверхностное упрочнение бойков и оправок радиально-обжимных машин азотированием.

Стали для вальцовочных штампов. При изготовлении валков для профилирования мелких заготовок — ключей, напильников (штамповка вальцеванием). Валки для вальцев поперечно-клиновой вальцовки вследствие их сложной конструкции следует изготавливать литыми из стали марок 5ХНМ, 5ХНВ и т. п.

Стали для накатных и раскатных штампов. Для изготовления опорных и нажимных валков следует применять те же стали, что и для изготовления вальцовочных валков, для изготовления накатников и матриц — высоковольфрамовые стали марок 4Х2В5ФМ, 5Х3В3МФС и т. п., а также быстрорежущие стали, обладающие высокой теплостойкостью и прочностью при нагреве.

Стали для открытых штампов гидравлических и кривошипных горячештамповочных прессов. Для изготовления крупных прессовых вставок, особенно при штамповке легких сплавов и низкоуглеродистых сталей, широко применяют хромоникелевые и хромомарганцовистые стали марок 5ХНВ, 5ХНМ, 5ХГМ, 5ХГСВФ и т. п. В последнее время хорошие результаты получены при использовании для открытых прессовых штампов новых среднелегированных штамповых сталей марок 4ХСМФ и 5Х2ВМНФ, а также высоколегированных штамповых сталей марок 4Х5В2ФС, 4Х3ВМФ, 4Х4МВФС и др. Штампы из этих сталей обладают высокой стойкостью также при штамповке поковок из легированных конструкционных сталей и титановых сплавов.

Для изготовления мелких прессовых штампов применяют в основном высоколегированные штамповые стали марок 4Х5В2ФС, 4Х3ВМФ и 4Х4МВФС; при штамповке поковок из труднодеформируемых материалов — стали марок 3Х2В8Ф, 4Х2В5ФМ и 5Х3В3МФС. Первую группу сталей следует применять при относительно легких условиях работы для изготовления штамповых вставок сложной конфигурации, а вторую — при повышенных нагрузках и износе для изготовления более простых прессовых вставок. Применение дефицитной стали марки 3Х2В8Ф целесообразно только для изготовления штампов горячей объемной штамповки поковок из меди и ее сплавов.

Стали для закрытых штампов и штампов выдавливания кривошипных горячештамповочных прессов. На первой стадии внедрения закрытой объемной штамповки и выдавливания (в том числе в разъемных матрицах) в качестве основных марок штамповой стали применяли 5ХНВ (для легких сплавов), 3Х2В8Ф (для конструкционных сталей и медных сплавов), а также быстрорежущие стали марок Р18, Р12, Р6М5 и Р6М3 (в особо тяжелых условиях работы: при высоких степенях деформации, при полугорячем выдавливании и т. п.).

Для закрытых штампов мощных гидравлических прессов, находящихся в очень длительном контакте с поковкой, применяют даже низкоуглеродистые конструкционные стали марок 15ХГС и 14ХНВФ, не склонные к закалке при применении водяного охлаждения.

Так же как и при открытой штамповке поковок из труднодеформируемых материалов на прессах, при закрытой штамповке и выдавливании высокую стойкость штампов обеспечивают за счет применения высоколегированных штамповых сталей марок 4Х4МВФС, 3Х3М3Ф, 4Х2В5ФМ и 5Х3В3МФС. Для повышения износостойкости, теплостойкости и прочности гравюры матриц, матричных вставок и пуансонов, имеющих полости, в которые выдавливается деформируемый металл, следует применять химико-термическую обработку (азотирование). Матрицы и матричные вставки простой конфигурации можно изготавливать из твердых сплавов или упрочнять методом наплавки.

Эти штамповые материалы и методы поверхностного упрочнения следует применять для таких формообразующих деталей закрытых штампов и штампов выдавливания, как пуансоны, прошивни, зубчатые вкладыши, вставки матриц. В то же время для изготовления менее ответственных деталей таких штампов можно применять более дешевые стали марок 4ХСМФ, 4Х3ВМФ и 4Х5В2ФС, а для изготовления крепежных деталей — даже конструкционные стали марок 40Х, 30ХГСА, 45 и т. п. На рис. VI.55 указаны марки стали и нормы твердости для основных деталей штампа для выдавливания в разъемных матрицах поковок типа стакана с ребрами.

В наиболее тяжелых температурно-силовых условиях эксплуатируются штампы полугорячего выдавливания стальных поковок на кривошипных прессах. Даже применение быстрорежущих сталей для изго-

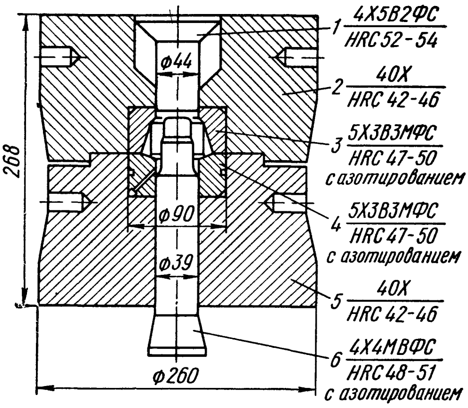

Рис. VI.55. Марки стали и нормы твердости для основных деталей штампа кривошипного горячештамповочного пресса для выдавливания в разъемных матрицах поковки типа стакана с ребрами:

1 — выталкиватель; *2*, *5* — бандажи; *3* — верхняя полуматрица; *4* — нижняя полуматрица; *6* — пуансон

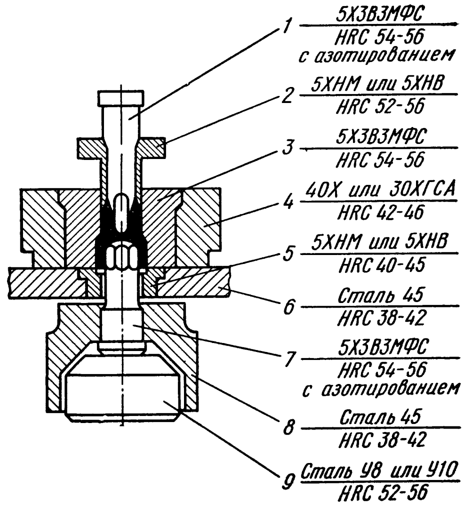

Рис. VI.56. Марки стали и нормы твердости для основных деталей штампа кривошипного горячештамповочного пресса для полугорячего выдавливания поковки торцового гаечного ключа из стали 40Х:

1 — пуансон верхний; *2* — толкатель; *3*—матричная вставка; *4* — матрица (бандаж); *5* — втулка съемника; *6* — плита съемника; *7* — пуансон нижний; *8* — кольцо нажимное; *9* — опора

товления пуансонов и матриц не обеспечивает их удовлетворительной стойкости. За счет применения стали марок 4Х4МВФС и 5Х3В3МФС с азотированием или наплавки электродами ОЗИ-4 можно повысить стойкость пуансонов и матриц в 1,5—2 раза (по сравнению со стойкостью пуансонов и матриц из быстрорежущей стали).

На рис. VI.56 указаны марки стали и нормы твердости для основных деталей штампа полугорячего выдавливания поковок торцовых гаечных ключей из стали 40Х.

Стали для штампового инструмента гидравлических трубопрутковых и прутково-профильных прессов. Контейнеры, их наружные и внутренние втулки при выдавливании цинковых и свинцовых сплавов изготавливают из хромоникелевых сталей с повышенным содержанием углерода: 5ХНМ, 5ХНВ; при выдавливании легких и медных сплавов — из хромоникелевых сталей с пониженным содержанием углерода: 27Х2Н2МВФ, 3Х2Н2ВМФ, 30Х2М1ФН и т. п. Вторую группу сталей следует также применять для изготовления наружных втулок контейнеров, предназначенных для выдавливания медных сплавов, сталей и труднодеформируемых металлов и сплавов; для изготовления внутренних втулок целесообразно использовать высоколегированные штамповые стали марок 4Х5В2ФС, 4Х3ВМФ, 4Х4МВФС (крупные слитки) и 4Х2В5ФМ, 3Х2В8Ф, 5Х3В3МФС (мелкие слитки).

Матрицы для выдавливания прутков и труб из цинковых и свинцовых сплавов изготавливают из стали марки 4Х2ГМФС, а для выдавливания профилей — из стали марок 4ХВ2С или 5ХВ2С. Эти же стали, а также сталь марки 3Х3М3Ф следует применять и для изготовления матриц для выдавливания легких сплавов магния и алюминия. Для выдавливания профилей и специальных труб из медных сплавов, углеродистых и легированных сталей лучшими являются матрицы из стали марок 4Х5В2ФС, 4Х4МВФС и 3Х2В8Ф. Целесообразно в ряде случаев при тяжелых условиях работы использовать для изготовления матриц аустенитную сталь марки 5Х13Н13МФС и твердые сплавы марок ВК8, ВК10, ВК15 и ВК20. Матрицы для выдавливания профилей из труднодеформируемых сплавов и тугоплавких металлов следует изготавливать из аустенитных никелевых сплавов ЖС-3 и ЖС-6 или керамического сплава 22ХС.

Крупные иглы (диаметром >40 мм) для выдавливания труб и полых профилей изготавливают из стали марок 4ХВ2С, 3ХВ4СФ, 4Х5В2ФС и т. п., а мелкие (диаметром <40 мм) — из высоковольфрамовых сталей марок 3Х2В8Ф, 4Х2В5ФМ и т. п. Для изготовления игл весьма малых размеров применяют аустенитные стали и сплавы. За рубежом для изготовления игл применяют стали с повышенным содержанием хрома типа 3Х5ВМФС или 4Х5МФ1С (водяное охлаждение) или высоковольфрамовые стали типа 3Х3В10Ф (воздушное охлаждение).

Прессшайбы чаще всего изготавливают из высоковольфрамовой стали марки 3Х2В8Ф; при более легких условиях работы и применении водяного охлаждения применяют стали марок 4ХВ2С, 4Х5В2ФС и т. п. Шплинтоны, или прессштемпели, изготавливают из стали марок 7Х3, 4ХВ2С, 5ХНМ.

Стали для обрезных, отрезных и прошивных штампов. Матрицы, режущие и толкающие пуансоны обрезных и отрезных штампов, а также прошивные и пробивные пуансоны прошивных штампов изготавливают из хромистой среднелегированной стали марок 7Х3 и 8Х3. Реже для этой цели применяют стали марок 5ХНВ, 5ХНМ, 4ХВ2С, 4ХС или 6ХС.

Матрицы, отрезные ножи и пуансоны, у которых режущую кромку наплавляют для повышения износостойкости, изготавливают из углеродистой стали 45, а матрицы для прошивки и пробивки отверстий, которые служат только для размещения поковки, изготавливают чаще всего из легированной конструкционной стали марки 40Х.

Указанные рекомендации относятся к операциям горячей обрезки облоя, прошивки или пробивки отверстий, отрезки заготовок и готовых поковок от прутка на кривошипных горячештамповочных прессах и ковочных машинах.

Для прошивного инструмента гидравлических прессов, испытывающего в процессе эксплуатации большие тепловые нагрузки, следует применять теплостойкие высоковольфрамовые штамповые стали марок 5Х3В3МФС, 4Х2В5ФМ и 3Х2В8Ф (без водяного охлаждения) или высоколегированные стали с 3—5% Cr марок 4Х3ВМФ, 4Х4МВФС и 4Х5В2ФС (с водяным охлаждением).

Стали для штампов горячей правки и калибровки. Цельные правочные штампы паровоздушных молотов и винтовых пресс-молотов изготавливают из среднелегированной стали марок 5ХНВ, 5ХНМ, 5ХГМ, 5ХГВ и т. п. Для правки поковок из труднодеформируемых материалов следует применять сборные штампы со вставками, изготовленными из высокопрочной стали марок 4Х3ВМФ, 4Х5В2ФС и 4Х4МВФС.

Правочные и калибровочные прессовые вставки изготавливают из таких же сталей. Для правки и калибровки на прессах поковок из цветных сплавов и углеродистых сталей можно применять штампы из стали марок 7Х3, 8Х3 и т. п.; для правки и калибровки на прессах поковок из труднодеформируемых материалов допустимо, помимо указанных сталей, использовать стали, обычно применяемые для изготовления штампов холодной объемной штамповки (марки Х6ВФ, Х12М и Х12Ф1).

Стали для штампов жидкой и изотермической штамповки, низкотемпературной термомеханической обработки. Для изготовления штампов жидкой штамповки легких сплавов следует применять стали марок 4Х5В2ФС, 4Х5МФС и 4Х5МФ1С, а для штампов жидкой штамповки медных сплавов — стали марок 4Х4МВФС и 3Х2В8Ф. Штампы жидкой штамповки углеродистых и легированных сталей изготавливают из различных материалов. В условиях мелкосерийного производства оправдывает себя применение малоуглеродистой стали марок Ст3, 10, 20; при штамповке более крупных серий применяют теплостойкие высоковольфрамовые стали марок 4Х2В5ФМ и 3Х2В8Ф, аустенитные

Таблица VI.22
Области применения сталей для изготовления штампов горячего деформирования

Марка стали	Назначение
1	2
7Х3	Пуансоны и матрицы для высадки заготовок из углеродистых и низколегированных конструкционных сталей на горизонтально-ковочных машинах; штампы для прессования и выдавливания заготовок из указанных выше материалов на кривошипных прессах при мелкосерийном производстве; гибочные, обрезные и просечные штампы
8Х3	Гибочные, обрезные и просечные штампы; инструменты, работающие в условиях повышенного износа (взамен стали 7Х3)
5ХНМ	Молотовые штампы паровоздушных и пневматических молотов с массой падающих частей >3 т; прессовые штампы и штампы для машинной скоростной штамповки заготовок из мягких цветных сплавов; блоки матриц для горизонтально-ковочных машин; ножи для горячей резки металла
5ХНВ	Молотовые штампы паровоздушных и пневматических молотов с массой падающих частей до 3 т; детали контейнеров, штамповых инструментов с большой рабочей поверхностью, работающих с невысокими удельными усилиями и с разогревом поверхности до 400—500° С; вставки, базовые детали и т. д. (применяют взамен сталей 5ХНМ, 5ХГМ)
5ХНВС	Молотовые штампы паровоздушных и пневматических молотов с массой падающих частей до 3 т (взамен сталей 5ХНМ, 5ХНВ, 5ХГМ); прессовые штампы и блоки матриц горизонтально-ковочных машин
5ХГМ	Ковочные штампы
4ХМФС	Молотовые штампы паровоздушных и пневматических молотов с массой падающих частей до 3 т при деформировании заготовок из легированных конструкционных и нержавеющих сталей (взамен менее теплостойких сталей 5ХНМ, 5ХНВ); прессовые инструменты для обработки изделий из алюминиевых сплавов; вставки и пуансоны для высадки заготовок на горизонтально-ковочных машинах
5Х2МНФ	Крупногабаритные штампы (со сторонами или диаметром >200 мм) для штамповки поковок из конструкционных сталей и жаропрочных сплавов на молотах и кривошипных прессах (вместо менее теплостойких сталей 5ХНМ, 4ХМФС); инструменты (зажимные и формующие вставки, наборные и формовочные пуансоны) для высадки заготовок из конструкционных и жаропрочных сталей на горизонтально-ковочных машинах; ножи для горячей резки металла
4Х5В2ФС	Молотовые и прессовые вставки (толщиной или диаметром до 200 мм) при деформировании заготовок из конструкционных сталей; инструменты для высадки заготовок из легированных сталей на горизонтально-ковочных машинах; прессформы для литья под давлением цинковых, алюминиевых и магниевых сплавов
4Х5МФС	Мелкие молотовые штампы; крупные (толщиной или диаметром до 250 мм) молотовые и прессовые вставки для деформирования заготовок из конструкционных сталей и цветных сплавов в условиях крупносерийного и массового производства; прессформы для литья под давлением алюминиевых, цинковых и магниевых сплавов
4Х5МФ1С	Прессформы для литья под давлением цинковых, алюминиевых и магниевых сплавов; молотовые и прессовые вставки (толщиной или диаметром до 200 мм) для деформирования заготовок из конструкционных сталей (вместо менее теплостойкой стали 4Х5МФС); инструменты для высадки заготовок из жаропрочных сплавов на горизонтально-ковочных машинах; ножи для горячей резки металла
2Х9В6	Прессформы для литья под давлением алюминиевых и медных сплавов
4Х3ВМФ	Мелкие молотовые штампы; молотовые или прессовые вставки (толщиной или диаметром до 300—350 мм); инструменты горизонтально-ковочных машин для деформирования заготовок из конструкционных сталей; инструменты для высокоскоростной машинной штамповки заготовок из конструкционных сталей
3Х3М3Ф	Инструменты для деформирования заготовок на кривошипных прессах и горизонтально-ковочных машинах, подвергающиеся в процессе эксплуатации интенсивному охлаждению (как правило, мелкие инструменты); прессформы для литья под давлением сплавов меди; ножи для горячей резки, охлаждаемые водой

Марка стали	Назначение
1	2
4Х4ВМФС	Инструменты для высокоскоростной машинной штамповки и высадки заготовок на горизонтально-ковочных машинах; вставки штампов для деформирования заготовок из конструкционных и труднодеформируемых металлов и сплавов на молотах и кривошипных горячештамповочных прессах (взамен менее теплостойких сталей 4Х5В2ФС, 4Х5МФС, 4Х3ВМФ и др.); прессформы для литья под давлением сплавов меди
4Х2В5МФ	Тяжелонагруженные прессовые инструменты (мелкие вставные знаки, матрицы и пуансоны для выдавливания и т. д.) для деформирования заготовок из легированных конструкционных сталей и жаропрочных сплавов
3Х2В8Ф	То же и прессформы для литья под давлением сплавов на основе меди
4Х2В2МФС, 5Х3В3МФС	Тяжелонагруженные прессовые инструменты (прошивные и формующие пуансоны, матрицы и т. д.); инструменты для высадки на горизонтально-ковочных машинах; вставки штампов напряженных конструкций для деформирования заготовок из конструкционных сталей и жаропрочных сплавов (взамен менее теплостойких сталей 3Х2В8Ф и 4Х2В5ФМ)
2Х6В8М2К8	Малогабаритные инструменты для штамповки и прессования заготовок из нержавеющих и жаропрочных сталей и сплавов при повышенных температурах и высоких давлениях

Таблица VI.23

Области применения сталей для ударного инструмента

Марка стали	Назначение
4ХС	Зубила, обжимки, ножи для горячей и холодной резки металла, штампы для горячей вытяжки
6ХС	Пневматические зубила, рубильные ножи, штампы небольших размеров для холодной штамповки
4ХВ2С	Пневматические инструменты (зубила, обжимки); вырубные и обрезные штампы сложной формы, работающие с повышенными нагрузками
5ХВ2С, 6ХВ2С	Ножи холодной резки металла, резьбонакатные плашки, пуансоны и обжимные матрицы при работе в холодном состоянии, длительно работающий деревообрабатывающий инструмент
6Х3ФС	Холодновысадочные штампы, штемпели, клейма, чеканочные штампы, слесарно-монтажные инструменты (взамен сталей 6ХВ2С и 7Х3)
6ХВГ	Пуансоны сложной формы для холодной прошивки отверстий (преимущественно фигурных) в листовом и полосовом материале; небольшие штампы горячей штамповки, главным образом когда допустимо лишь минимальное изменение размеров при закалке

стали и сплавы, а также наплавку рабочей поверхности штампов.

Аустенитные сплавы марок ЖС-3 и ЖС-6 или твердые сплавы применяют также для изготовления инструмента изотермической штамповки.

Для изготовления матриц штампов низкотемпературной термомеханической обработки лучшими являются быстрорежущие стали марок Р12, Р18 и высоковольфрамовые стали марок 5Х3В3МФС, 4Х2В5ФМ и 3Х2В8Ф с азотированием. Из этих же сталей изготавливают пуансоны (без поверхностного упрочнения); для изготовления бандажей, длительно эксплуатируемых при температурах 450—500° С, следует применять стали марок 4Х3ВМФ, 4Х5В2ФС или 4Х4МВФС.

Обобщенные сведения о назначении сталей для изготовления штампов горячего деформирования и ударного инструмента представлены в табл. VI.22 и VI.23.

5. Быстрорежущие стали

Быстрорежущую сталь поставляют в виде горячекатаных, кованых, холоднотянутых прутков и кованых цилиндров (шайб).

По форме, размерам и предельным отклонениям от них поставляемая сталь соответствует: серебрянка диаметром 1—25 мм — ГОСТ 14955—69; горячекатаный сорт диаметром (стороной квадрата) 8—100 мм — ГОСТ 2590—71 и ГОСТ 2591—71; кованый сорт диаметром (стороной квадрата) 40—150 мм — ГОСТ 1133—71; полоса — ГОСТ 4405—75; горячекатаный лист толщиной 1,5—6,0 мм — ТУ 14-1-317—72; холоднокатаный лист толщиной 0,8—1,4 мм — ТУ 14-1-1706—76. Химический состав и свойства быстрорежущей стали регламентированы ГОСТ 19265—73 и техническими условиями.

Как правило, быстрорежущую сталь используют для изготовления режущих инструментов, эксплуатирующихся в условиях значительного силового нагружения и разогрева рабочих кромок; иногда ее применяют для изготовления игл топливной аппаратуры, подшипников качения, тяжелонагруженных штампов для холодного прессования.

Основными свойствами, обеспечивающими высокую стойкость инструмента из быстрорежущей стали, являются вторичная твердость, теплостойкость (красностойкость), износостойкость, прочность и вязкость. Однако в зависимости от вида выполняемой операции, свойств подвергаемых обработке резанием материалов, основных параметров оборудования и других факторов роль каждого из этих свойств может меняться. Так, например, для инструментов простой формы с массивной режущей кромкой при непрерывном точении срок службы инструмента лимитируется вторичной твердостью, красностойкостью и износостойкостью. Для инструментов сложной формы, тонколезвийных, а также инструментов, используемых при прерывистом точении, большое значение приобретают прочность и вязкость стали.

Повышение того или иного параметра, достигаемое за счет изменения химического состава и режима термической обработки стали, как правило, сопровождается снижением других показателей. Так, с увеличением вторичной твердости и красностойкости прочность и вязкость обычно уменьшаются.

Высокие режущие свойства быстрорежущих сталей обеспечиваются в результате легирования сильными карбидообразующими элементами — вольфрамом, молибденом, ванадием, хромом, а также кобальтом.

В структуре литой быстрорежущей стали присутствует сложная эвтектика, напоминающая ледебурит и располагающаяся по границам зерен. При горячей механической обработке сетка дробится и входящие в нее карбиды измельчаются. Однако равномерного распределения карбидов не наблюдается. Карбидная неоднородность способствует созданию значительной анизотропии свойств по сечению и резкому снижению механических свойств в заготовках больших размеров.

В отожженном состоянии структура быстрорежущих сталей представляет собой зернистый перлит с включениями эвтектических карбидов типа M_6C, $M_{23}C_6$ и MC; в закаленном — высоколегированный α-раствор (мартенсит), эвтектические карбиды и остаточный аустенит; в высокоотпущенном — мартенсит и карбиды.

Для получения высокой вторичной твердости и красностойкости при удовлетворительной прочности и вязкости закалку быстрорежущих сталей следует осуществлять с температур, обеспечивающих возможно более полное растворение вторичных карбидов и получение высоколегированного хромом, вольфрамом, молибденом и ванадием аустенита. В то же время температура не должна превышать оптимальных значений — размер зерна аустенита должен находиться в пределах 9—11 баллов.

Для предотвращения окисления и обезуглероживания быстрорежущих сталей нагрев под закалку следует производить в соляных ваннах, раскисленных фтористым магнием; отжиг целесообразно проводить в печах с контролируемой атмосферой. Нагрев под закалку проводят с одним или двумя подогревами — при температуре 400—500 и 800—850° С. Продолжительность выдержки при температуре нагрева — 10—15 с на 1 мм диаметра (толщины) инструмента. Охлаждение при закалке — на воздухе, в масле или в расплаве солей с температурой 500—560° С. Отпуск (обычно двух- и трехкратный по 1 ч) целесообразно проводить в соляных ваннах или в печах с принудительной циркуляцией воздуха для обеспечения равномерного нагрева.

Иногда для уменьшения количества остаточного аустенита инструмент простой формы непосредственно после закалки (во избежание стабилизации аустенита) охлаждают до температуры минус 80° С. При обработке холодом более половины остаточного аустенита превращается в мартенсит; после обработки холодом следует один или два отпуска при обычно принятой температуре. Обработка холодом и последующий отпуск уменьшают длительность технологического цикла, но требуют дополнительного оборудования (холодильной камеры).

Для повышения твердости, износостойкости, коррозионной стойкости поверхностного слоя режущего инструмента из быстрорежущей стали используют цианирование, азотирование, сульфидирование, обработку паром. Эти операции являются обычно заключительными. Их выполняют после термической обработки, шлифования и заточки. Цианирование осуществляют при 550—570° С в течение 5—30 мин (в жидких средах) и 1,5—3 ч (в газовой атмосфере). Для жидкостного цианирования используют ванны с расплавом $NaCN$ (90 или 50%), Na_2CO_3, $NaOH$ (или KOH). Газовое цианирование выполняют в смеси аммиака и науглероживающего газа. Азотирование проводят в атмосфере аммиака при температуре 550—560° С; степень диссоциации аммиака 35—40%, длительность процесса до 40 мин.

22—683

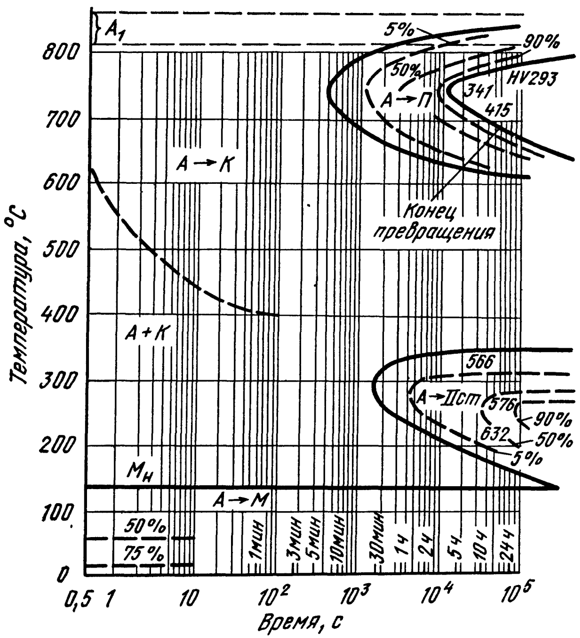

Рис. VI.57. Диаграмма изотермического превращения аустенита стали Р18 (0,81% С; 0,15% Si; 3,77% Cr; 18,25% W; 1,07% V; 0,44% Mo; A_1=820° С; $M_н$=140° С; $t_{ауст}$=1290° С)

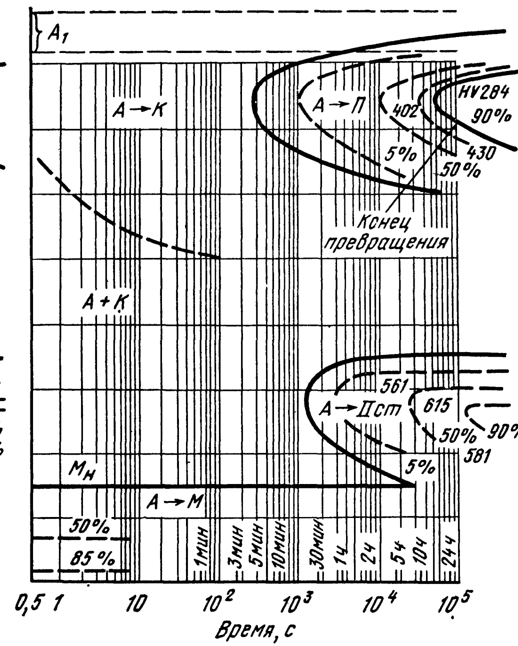

Рис. VI.58. Диаграмма изотермического превращения аустенита стали Р12 (0,87% С; 3,92% Cr; 0,11% Ni; 0,8% Mo; 11,9% W; 2,52% V; A_1=830° С; $M_н$=155° С; $t_{ауст}$=1280° С)

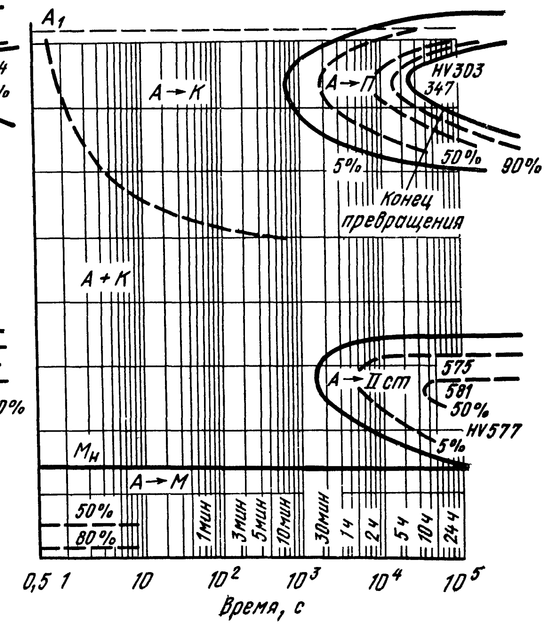

Рис. VI.59. Диаграмма изотермического превращения аустенита стали Р6М5 (0,85% С; 4,15% Cr; 0,18% Ni; 4,89% Mo; 6,34% W; 2,01% V; A_1=820° С; $M_н$=140° С; $t_{ауст}$=1260° С)

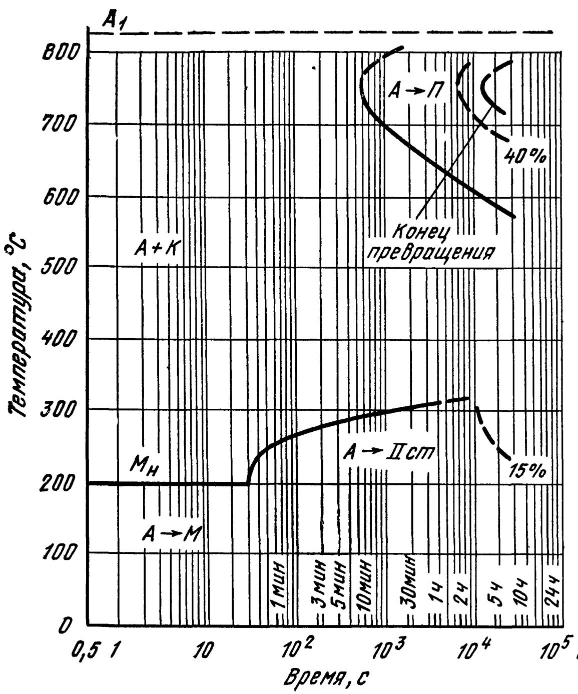

Рис. VI.60. Диаграмма изотермического превращения аустенита стали Р14Ф4 (1,23% C; 4,02% Cr; 13,51% W; 3,6% V; A_1=825° C; $M_н$=200° C; $t_{ауст}$=1260° C)

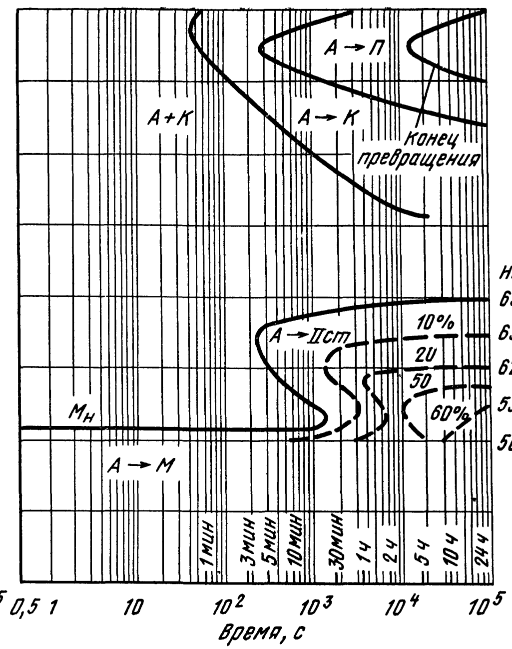

Рис VI 61 Диаграмма изотермического превращения аустенита стали Р18К5Ф2 (0,9% C; 4,5% Cr; 0,98% Mo; 18% W, 2,1% V; 5% Co; $M_н$=215° C; $t_{ауст}$=1260° C)

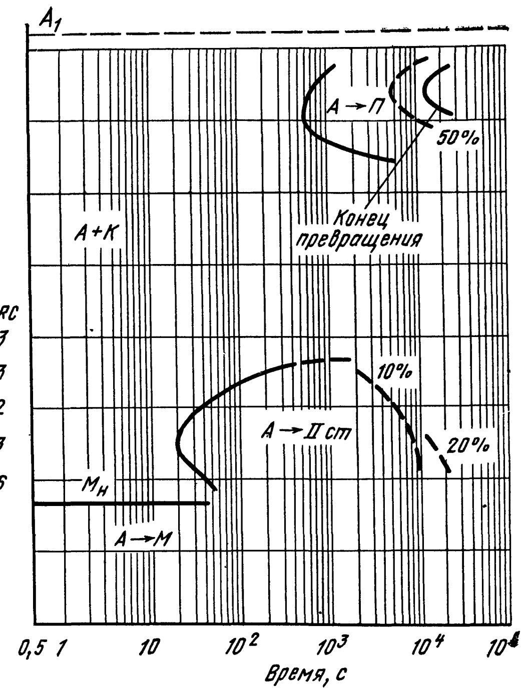

Рис. VI 62 Диаграмма изотермического превращения аустенита стали Р10К5Ф5 (1,49% C; 4,05% Cr; 10,6% W; 4,48% V; 4,9% Co, A_1=820° C; $M_н$=170° C; $t_{ауст}$=1260° C)

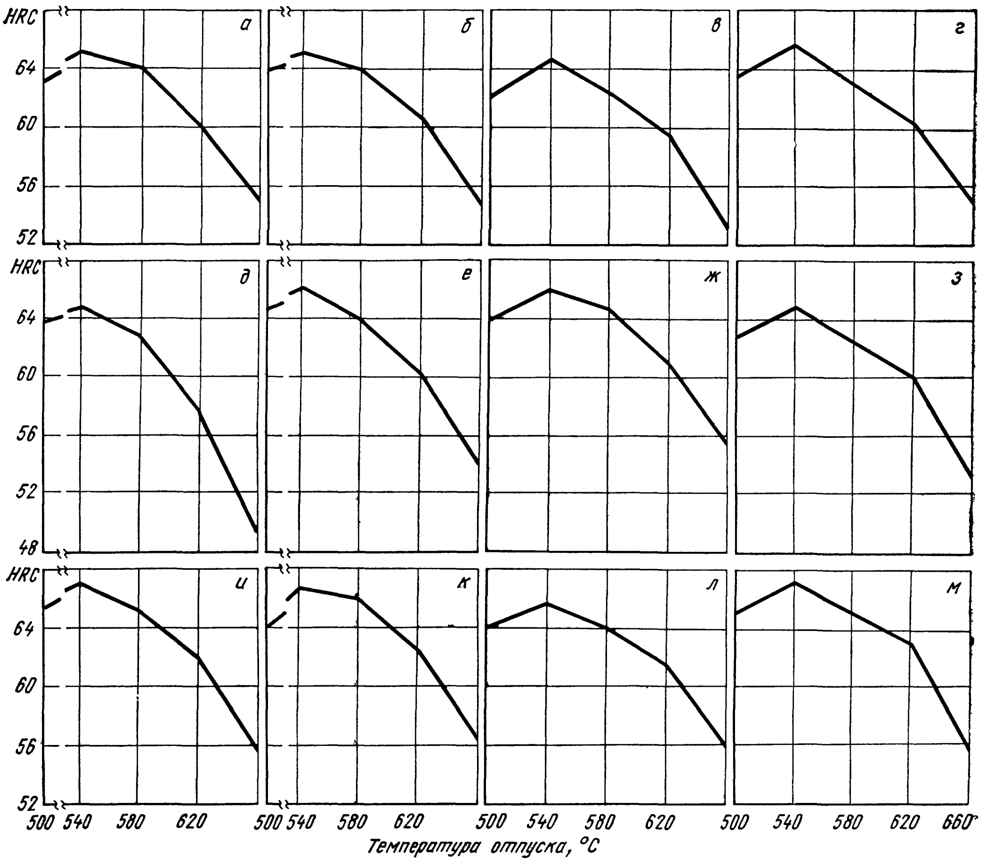

Рис. VI 63. Зависимость твердости от температуры трехкратного отпуска для стали марок:

а — Р18 (закалка с 1280° С); *б* — Р12 (закалка с 1250° С); *в* — Р9 (закалка с 1230° С); *г* — Р6М3 (закалка с 1220° С); *д* — Р6М5 (закалка с 1220° С); *е* — Р18Ф2 (закалка с 1280° С); *ж* — Р14Ф4 (закалка с 1250° С); *з* — Р9Ф5 (закалка с 1230° С); *и* — Р18К5Ф2 (закалка с 1280° С); *к* — Р10К5Ф5 (закалка с 1240° С); *л* — Р9К5 (закалка с 1230° С); *м* — Р6М5К5 (закалка с 1220° С)

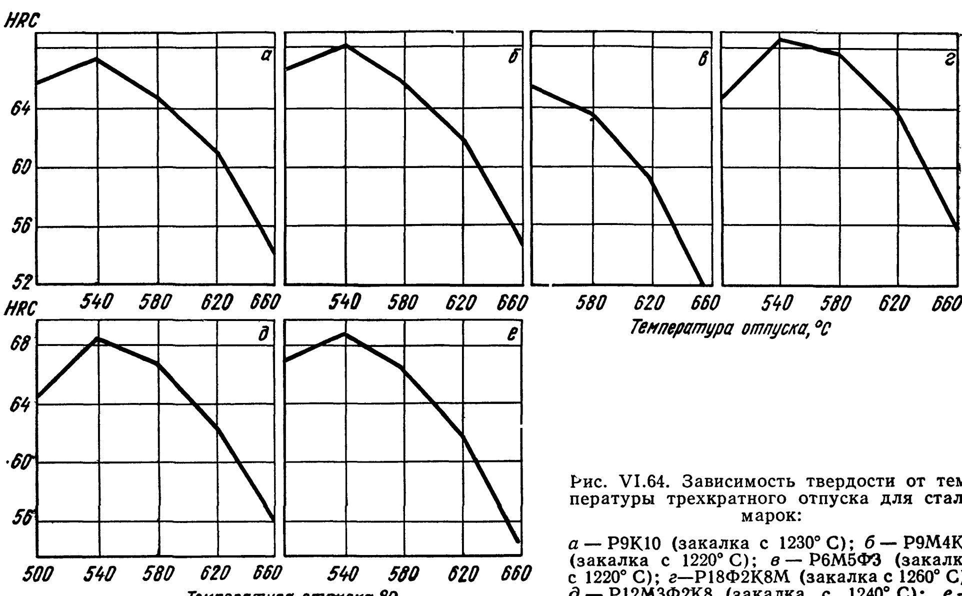

Рис. VI.64. Зависимость твердости от температуры трехкратного отпуска для стали марок:

а — Р9К10 (закалка с 1230° С); *б* — Р9М4К8 (закалка с 1220° С); *в* — Р6М5Ф3 (закалка с 1220° С); *г*—Р18Ф2К8М (закалка с 1260° С); *д* — Р12М3Ф2К8 (закалка с 1240° С); *е* — Р10М4Ф3К10 (закалка с 1220° С)

Таблица VI.24

Химический состав быстрорежущих сталей

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	0,80—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	4,8—5,8
Р9К10	0,9—1,0	3,8—4,4	9,0—10,5	2,0—2,6	9,0—10,5	⩽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
Р6М5Ф3	0,96—1,05	3,8—4,3	5,7—6,7	2,2—2,6	—	5,5—6,0
Р18Ф2К8М	0,95—1,05	3,8—4,4	17,0—18,5	1,8—2,4	7,8—8,5	0,8—1,2
Р12М3Ф2К8	0,95—1,05	3,8—4,4	11,0—13,0	1,8—2,4	7,5—8,5	2,8—3,4
Р10М4Ф3К10	1,17—1,27	3,8—4,3	10,0—11,0	3,3—3,8	9,5—10,5	3,7—4,2

Примечание. Во всех сталях содержится, %, не более: 0,4 Mn; 0,5 Si; 0,4 Ni; 0,03 S; 0,03 P.

Таблица VI.25

Критические точки и температурный режим ковки быстрорежущих сталей

Марка стали	Критические точки, °С				Температурный интервал ковки, °С*	Твердость НВ после отжига, не более
	Ac_1	Acm	Ar_1	Arm		
Р18	820	860	725	770	1220—850	255
Р12	820	850	720	770	1160—850	255
Р9	820	870	740	780	1180—850	255
Р6М3	800	860	720	780	1140—850	255
Р6М5	815	880	730	790	1160—850	255
Р18Ф2	800	850	725	770	1180—850	269
Р14Ф4	825	885	—	—	1160—850	269
Р9Ф5	820	850	730	775	1140—850	269
Р18К5Ф2	830	860	750	780	1200—900	285
Р10К5Ф5	825	850	740	775	1180—850	285
Р9К5	815	850	725	760	1140—850	269
Р9М4К8	800	840	750	790	1140—850	285
Р6М5К5	840	875	765	805	1160—850	269
Р9К10	840	870	785	820	1180—850	269
Р6М5Ф3	815	875	—	—	1180—850	269
Р18Ф2К8М	830	860	750	780	1160—950	293
Р12М3Ф2К8	820	860	765	805	1180—900	285
Р10М4Ф3К10	830	870	765	805	1180—900	285

* Охлаждение после ковки замедленное в колодцах, предварительно нагретых до 750—800° С.

Таблица VI.26

Режимы окончательной термической обработки и свойства быстрорежущих сталей

Марка стали	Температура нагрева под закалку, °С	Температура отпуска, °С	Твердость HRC после отпуска	Прочность при изгибе, кгс/мм²	Красностойкость (HRC58), °С
Р18	1270—1290	560—570	62—65	260—300	620
Р12	1230—1260	550—570	62—65	260—350	620
Р9	1210—1240	550—570	62—64	280—320	620
Р6М3	1200—1230	540—560	62—64	320—360	620

Марка стали	Температура нагрева под закалку, °С	Температура отпуска, °С	Твердость HRC после отпуска	Прочность при изгибе, кгс/мм²	Красностойкость (HRC58), °С
Р6М5	1200—1230	540—560	63—65	320—360	620
Р18Ф2	1260—1290	560—580	63—66	240—280	630
Р14Ф4	1230—1260	560—580	63—66	220—260	630
Р9Ф5	1230—1250	560—580	63—65	240—280	620
Р18К5Ф2	1260—1290	560—580	64—67	180—220	640
Р10К5Ф5	1220—1250	560—580	64—67	180—220	640
Р9К5	1210—1240	560—580	63—66	230—270	630
Р6М5К5	1210—1240	540—560	64—66	260—300	630
Р9К10	1210—1240	560—580	63—67	200—240	640
Р9М4К8	1210—1240	550—570	65—68	220—260	630
Р6М5Ф3	1200—1230	540—560	63—66	270—310	625
Р18Ф2К8М	1240—1270	560—580	64—68	140—180	640
Р12М3Ф2К8	1220—1250	550—580	64—68	180—220	635
Р10М4Ф3К10	1220—1250	540—570	65—69	140—200	640

Примечание. Температура предварительного подогрева под закалку 800—850° С, охлаждающая среда при закалке — масло, расплавленные соли или щелочи, отпуск — двух- и трехкратный по 1 ч; охлаждение после отпуска — на воздухе.

Таблица VI.27

Области применения быстрорежущих сталей

Марка стали	Назначение
1	2
Р18	Черновые и чистовые режущие инструменты (фрезы, долбяки, протяжки, метчики, шеверы и т. п.) для обработки деталей из конструкционных сталей с пределом прочности до 90—100 кгс/мм². В связи с высоким содержанием вольфрама целесообразно использовать ее только для изготовления инструментов высокой точности, когда использование сталей других марок ограничивается опасностью пережога на режущей кромке при шлифовании и заточке
Р12	Различные режущие инструменты (фрезы, протяжки, долбяки, шеверы, метчики, развертки и т. п.) для обработки деталей из конструкционных сталей взамен марки Р18
Р9	Чистовые и получистовые режущие инструменты простой формы, не требующие большого объема шлифования и предназначенные для обработки деталей из конструкционных сталей с пределом прочности до 90—100 кгс/мм²; сверла, изготавливаемые методами пластической деформации; деревообрабатывающий инструмент
Р6М3	Чистовые и получистовые инструменты небольших размеров (в основном сверла и зенкера, а также дисковые фрезы и другие инструменты, заготовкой которых служат лист и полоса) для обработки деталей из конструкционных сталей с пределом прочности до 90 кгс/мм² (имеет пониженную шлифуемость)
Р6М5	Режущие инструменты всех видов для обработки при обычных скоростях резания деталей из углеродистых и среднелегированных конструкционных сталей с пределом прочности до 90—100 кгс/мм², а также зуборезные и резьбонарезные инструменты для обработки нержавеющих сталей
Р18Ф2	Чистовые и получистовые режущие инструменты (резцы, фрезы, машинные развертки, сверла и т. п.) для обработки деталей из среднелегированных конструкционных сталей, а также из некоторых марок нержавеющих сталей и жаропрочных сплавов
Р14Ф4, Р9Ф5	Инструменты простой формы, не требующие большого объема шлифования (резцы, зенкера, развертки и т. п.), для обработки изделий из материалов с повышенными абразивными свойствами (стеклопластики, пластмассы, эбонит и т. п.); чистовые инструменты простой формы для обработки деталей из легированных сталей и сплавов

1	2
Р18К5Ф2	Различные инструменты (резцы, фрезы, сверла и т. п.), в основном получистовые и черновые, для обработки деталей из углеродистых и легированных конструкционных сталей при повышенных режимах резания, а также из конструкционных материалов с повышенной твердостью, нержавеющих сталей и жаропрочных сплавов
Р10К5Ф5	Чистовые и получистовые инструменты (резцы, фрезы, зенкера, развертки и т. п.) для обработки деталей из различных труднообрабатываемых материалов (нержавеющих и высокопрочных сталей с повышенной твердостью, жаропрочных сплавов и т. п.)
Р9К5, Р9К10	Черновые и получистовые режущие инструменты (резцы, фрезы, долбяки, метчики, зенкера и т. п.) для обработки при повышенных режимах резания деталей из углеродистых и легированных конструкционных сталей, а также из труднообрабатываемых нержавеющих, жаропрочных и высокопрочных сталей
Р6М5К5	Основная марка быстрорежущей стали повышенной производительности, применяемая для изготовления различных черновых и получистовых инструментов (фрез, долбяков, зенкеров, резьбонарезных инструментов и т. п.), предназначенных для обработки деталей из углеродистых и легированных конструкционных сталей при повышенных режимах резания, а также из нержавеющих сталей и жаропрочных сплавов. Рекомендуется взамен стали Р18К5Ф2 как более экономичная и взамен стали Р9К5 как имеющая более высокие (на 25—30%) режущие свойства
Р9М4К8	Различные виды инструментов (резцы, фрезы, зенкера, метчики и т. п.) для обработки деталей из труднообрабатываемых материалов (жаропрочных сплавов, легированных конструкционных сталей с повышенной твердостью и т. п.), а также углеродистых и легированных сталей при высоких режимах резания. Целесообразно использовать для изготовления высокопроизводительных зуборезных инструментов в тех случаях, когда применение сталей Р6К5М5 и Р9К10 недостаточно эффективно
Р6М5Ф3	Чистовые и получистовые инструменты (фасонные резцы, развертки, сверла, протяжки и др.), предназначенные для обработки деталей из сталей и сплавов. Инструменты из стали Р6М5Ф3 имеют стойкость на 25% выше, чем из стали Р18
Р18Ф2К8М	Инструменты (сверла, зенкера, фрезы, метчики и т. п.), предназначенные для обработки деталей из наиболее труднообрабатываемых жаропрочных сплавов и сталей с высокой твердостью
Р12М3Ф2К8	Инструменты (сверла, зенкера, фрезы, протяжки, метчики и т. п.), предназначенные для обработки деталей из труднообрабатываемых жаропрочных сплавов, нержавеющих и высокопрочных сталей (взамен стали Р18Ф2К8М). Кроме того, используют для автоматных резцов (в том числе фасонных) и некоторых других инструментов, работающих на высоких скоростях резания, для обработки обычных конструкционных материалов (взамен малотехнологичной стали Р10М4Ф3К10)
Р10М4Ф3К10	Инструменты, используемые на получистовых и чистовых операциях резания (в основном на автоматических станках), а также инструменты простой формы для обработки деталей из труднообрабатываемых материалов. Имеет более низкие технологические свойства, чем сталь Р12М3Ф2К8

При обработке инструментов из быстрорежущих сталей паром их помещают в герметически закрывающуюся печь и при 300—350° С подают пар в течение 20—30 мин для удаления воздуха. Затем повышают температуру до 550—570° С, выдерживают 30—60 мин и охлаждают в атмосфере пара до 300—350° С, после чего прекращают подачу пара, заканчивают охлаждение в печи или на воздухе и немедленно промывают инструмент в горячем масле.

Химический состав быстрорежущих сталей дан в табл. VI.24, а значения критических точек и температурный режим ковки — в табл. VI.25. Диаграммы изотермического превращения переохлажденного аустенита ряда марок быстрорежущей стали приведены на рис. VI.57—VI.62.

Режим отжига различных марок быстрорежущей стали практически одинаков. Как правило, их нагревают под отжиг до температуры 840—880° С. Охлаждение до температуры 720—730° С осуществляют со скоростью 40 град/ч, продолжительность выдержки при этой температуре не менее 4 ч. Последующее охлаждение до 600° С со скоростью 50 град/ч и далее на воздухе. Твердость после отжига должна быть не более указанной в табл. VI.25.

Влияние температуры отпуска на твердость различных марок быстрорежущей стали показано на рис. VI.63, VI.64, а режимы их окончательной термической обработки и механические свойства — в табл. VI.26. В табл. VI.27 указано назначение быстрорежущих сталей.

Таблица VI.28

Характеристика стандартных спеченных твердых сплавов (ГОСТ 3882—74)

Марка сплава	Химический состав, %				Плотность, г/см³	Твердость HRA, не менее	$\sigma_{изг}$, кгс/мм², не менее
	WC	TiC	TaC	Co			
ВК3	97	—	—	3	15,0—15,3	89,5	110
ВК3-М	97	—	—	3	15,0—15,3	91,0	110
ВК4	96	—	—	4	14,9—15,2	89,5	140
ВК4-В	96	—	—	4	14,9—15,2	88,0	140
ВК6	94	—	—	6	14,6—15,0	88,5	150
ВК6-М	94	—	—	6	14,8—15,1	90,0	135
ВК6-ОМ	92	—	2	6	14,7—15,0	90,5	120
ВК6-В	94	—	—	6	14,6—15,0	87,5	155
ВК8	92	—	—	8	14,4—14,8	87,5	160
ВК8-В	92	—	—	8	14,4—14,8	86,5	175
ВК8-ВК	92	—	—	8	14,5—14,8	86,5	175
ВК-10	90	—	—	10	14,2—14,6	87,0	165
ВК10М	90	—	—	10	14,3—14,6	88,0	150
ВК10-ОМ	88	—	2	10	14,3—14,6	88,5	140
ВК10-КС	90	—	—	10	14,2—16,6	85,0	175
ВК11-В	89	—	—	11	14,1—14,4	86,0	180
ВК11-ВК	89	—	—	11	13,9—14,1	86,0	180
ВК15	85	—	—	15	13,9—14,1	86,0	180
ВК20	80	—	—	20	13,4—13,7	84,0	195
ВК20-КС	80	—	—	20	13,4—13,7	82,0	205
ВК20-К	80	—	—	20	13,4—13,7	79,0	155
ВК25	75	—	—	25	12,9—13,2	82,0	200
Т30К4	66	30	—	4	9,5—9,8	92,0	95
Т15К6	79	15	—	6	11,1—11,6	90,0	115
Т14К8	78	14	—	8	11,2—11,6	89,5	125
Т5К10	85	5	—	10	12,4—13,1	88,5	140
Т5К12	83	5	—	12	13,1—13,5	87,0	165
ТТК12	81	4	3	12	13,0—13,3	87,0	165
ТТ8К6	84	8	2	6	12,8—13,3	90,5	125
ТТ10К8-Б	82	3	7	8	13,5—13,8	89,0	130
ТТ20К9	71	8	12	9	12,0—13,0	89,0	130

Примечание. В марках первые буквы означают группу, к которой относится сплав (ВК — вольфрамовая, Т — титано-вольфрамовая, ТТ — титано-вольфрамо-танталовая), цифры в вольфрамовой группе — количество кобальта, первые цифры в титано-вольфрамовой группе — количество карбида титана, а вторые — количество кобальта. Первые цифры в титано-тантало-вольфрамовой группе — количество карбидов титана и тантала, а вторые цифры — количество кобальта.

В конце некоторых марок твердых сплавов стоят буквенные обозначения. Они означают: В — сплавы, изготовленные из карбида вольфрама, полученного из крупнозернистого вольфрама, образующегося при высокотемпературном восстановлении (такие сплавы отличаются повышенной вязкостью); М — сплавы, изготовленные из мелких порошков карбида вольфрама (отличаются повышенной износостойкостью); ОМ — сплавы, изготовленные из особо мелких порошков карбида вольфрама (отличаются очень высокой износостойкостью); ВК — сплавы, изготовленные из особо крупного карбида вольфрама (отличаются повышенной вязкостью, стойкостью против ударов); КС — сплавы, изготовленные из карбида вольфрама, полученного при высоких температурах, но подвергнутого размолу до средней зернистости; Б — индивидуальное обозначение марки вольфрамотитанотанталового сплава.

Таблица VI.29

Характеристика и назначение нестандартных твердых сплавов

Тип сплава	Химический состав, %	Плотность, г/см³	Твердость HRA	$\sigma_{изг}$, кгс/мм²	$\sigma_{сж}$, кгс/мм²	E, кгс/мм²	Назначение
Карбидохромовый КХН	Cr_3C_2 — основа, никель — 10—30%	6,6—7,0	85—90	60—70	280—350	32000—34000	Инструмент для штамповки и волочения деталей из черных и цветных металлов; калибровочный и измерительный инструмент; прессформы для порошковой металлургии

Тип сплава	Химический состав, %	Плотность, г/см³	Твердость HRA	$\sigma_{изг}$, кгс/мм²	$\sigma_{сж}$, кгс/мм²	E, кгс/мм²	Назначение
Карбидотитановый	TiC — 50%, связка из никелевого жаропрочного сплава типа ЖС6—50%	7,8—8,2	82—83	220—230	380—400	38000—39000	Штампы для изотермической штамповки деталей из титановых сплавов и сталей
Ферроцитит	TiC — основа, связка из хромоникелевой стали — 15%	7,4—7,6	88—89	70—80	—	—	Инструмент для штамповки и волочения деталей из черных и цветных металлов

Таблица VI.30

Характеристика эксплуатационных свойств и назначение инструмента, изготовленного из стандартных твердых сплавов (ГОСТ 3882—74)

Марка сплава	Эксплуатационные свойства	Назначение
ВК3, ВК3-М	Весьма высокая износостойкость и повышенная допустимая скорость резания; умеренная прочность и сопротивляемость ударам	Чистовое и получистовое точение при непрерывном резании. Нарезание резьбы, развертывание и другие виды обработки деталей из чугуна, цветных металлов и неметаллических материалов. Резка стекла
ВК4, ВК6-М, ВК6	Высокие показатели износостойкости и эксплуатационной прочности	Черновое точение, черновое и чистовое фрезерование, рассверливание, зенкерование при обработке деталей из чугуна, цветных металлов и их сплавов, неметаллических материалов, титана и его сплавов, нержавеющих сталей и жаропрочных сплавов
ВК4-В	Износостойкость более низкая, чем у ВК4; прочность более высокая, чем у ВК4	Бурение углей, сланцев, каменной соли и других пород
ВК6-В	То же	Перфораторное бурение горных пород
ВК8	Более высокая эксплуатационная прочность, но меньшая износостойкость, чем у ВК3	Черновое точение и другие виды черновой обработки резанием деталей из чугуна, цветных металлов, жаропрочных сплавов. Волочение и калибровка труб, прутков, проволоки. Штамповка. Вращательное бурение геологоразведочных и нефтяных скважин
ВК8-В	Более низкая износостойкость, чем у ВК8, и более высокая эксплуатационная прочность	Бурение шарошечными долотами, зарубки каменных углей. Волочение труб и прутков из сталей и других металлов при повышенных обжатиях
ВК10	Меньшая износостойкость, но более высокая эксплуатационная прочность, чем у ВК8	Волочение труб и прутков из сталей; изготовление изнашивающихся деталей машин, приспособлений и инструмента
ВК15	Высокая эксплуатационная прочность и сопротивляемость ударам. Износостойкость ниже, чем у ВК8 и ВК10	Бурение горных пород и гранита; волочение труб и прутков из сталей с большими обжатиями; изготовление быстроизнашивающихся деталей, штампов, обработка дерева резанием
ВК20, ВК25	Эксплуатационная прочность и сопротивляемость ударам выше, а износостойкость ниже, чем у ВК15	Изготовление быстроизнашивающихся деталей машин и штампового инструмента

Марка сплава	Эксплуатационные свойства	Назначение
Т30К4	Наивысшие для титановольфрамовых сплавов износостойкость и допустимая скорость резания при пониженной эксплуатационной прочности	Чистовое точение с малым сечением среза и другие виды обработки стали
Т15К6, Т14К8	Эксплуатационная прочность выше, а износостойкость и допустимая скорость резания ниже, чем у Т30К4	Черновое и получистовое точение при непрерывном резании, чистовое точение при прерывистом резании и другие виды обработки сталей
Т5К10	Эксплуатационная прочность выше, а износостойкость и допустимая скорость резания ниже, чем у Т14К8	Черновое точение при неравномерном сечении среза и прерывистом резании; чистовое строгание; черновое фрезерование и другие виды обработки сталей
Т5К12-В	Эксплуатационная прочность значительно выше, а износостойкость и допустимая скорость резания ниже, чем у Т5К10	Черновое точение стальных поковок, штамповок и отливок по корке с раковинами при наличии песка, шлака при неравномерных сечениях, срезах и ударах
ТТ10К8-Б	Высокая эксплуатационная прочность и сопротивление ударам при умеренной износостойкости	Черновая и чистовая обработки труднообрабатываемых материалов, в том числе жаропрочных сталей и сплавов

Таблица VI.31

Характеристика и назначение припоев для твердых сплавов

Припои	Химический состав, %	Температура плавления, °С	Назначение
Медноникелевый	68,7 Cu; 27,5 Ni; 0,8 Al	1170	Для работ с большими нагрузками и нагревом режущей части инструментов до 900 °С
Электролитическая медь	99,9 Cu; 0,1 примесей	1083	Для работ со средними нагрузками и нагревом режущей части инструмента до 700° С
Латуннноникелевый	68 Cu; 27 Zn; 5 Ni	1000	То же
Латунь Л62	62 Cu; 38 Zn	900	То же, при нагреве режущей части до 600° С
Серебряный Пср45	10 Ag, 53 Cu; 37 Zn	720	Для припайки твердых сплавов, содержащих TiC

6. Твердые сплавы

Современные твердые сплавы выпускают в виде: стандартных пластин различного размера и формы, которыми оснащают соответствующие инструменты; матриц для прессования полуфабрикатов и волочения проволоки; фасонного инструмента, например спиральных сверл, метчиков, плоских фрез и др. В состав твердых сплавов входят карбиды тугоплавких металлов (вольфрама, титана, тантала, хрома), связанные кобальтом, легированной сталью или твердым сплавом на основе никеля.

Металлокерамические твердые сплавы изготавливают путем прессования смеси тонкоразмолотых карбидов со связующим металлом в изделия определенных размеров и формы и последующего спекания полученных изделий в защитной атмосфере или вакууме при 1250—1450° С (в зависимости от состава сплавов).

Свойства и области применения твердых сплавов в значительной мере зависят от химического состава (соотношения карбидбидной фазы. Основные характеристики ной и связывающей фаз) и зернистости карстандартных твердых сплавов, выпускаемых в СССР, приведены в табл. VI.28, а нестандартных — в табл. VI.29.

В табл. VI.30 указаны основные эксплуатационные свойства твердых сплавов и области их применения.

Крепление твердосплавных штамповых и волочильных матриц осуществляют путем тугой посадки в стальную обойму с помощью припоя. Пластинки в режущем и буровом инструменте крепят либо с помощью припоя, либо механическим способом. Характеристика наиболее распространенных припоев приведена в табл. VI.31.

Для предохранения поверхности гнезда и пластинок твердых сплавов от окисления и лучшего смачивания спаиваемых поверхностей применяют флюсы следующих составов: 1) 100% буры (основной вид флюса); 2) 50% буры; 50% борной кислоты (при использовании латунного припоя); 3) 57% борной кислоты; 43% фтористого кальция (при использовании серебряного припоя).

Библиографический список

Бельский Е. И. Стойкость кузнечных штампов. Минск, «Наука и техника», 1975. 238 с. с ил.

Геллер Ю. А. Инструментальные стали. М., «Металлургия», 1975. 588 с. с ил.

Горюнов И. И. Прессформы для литья под давлением. Л., «Машиностроение», 1973. 255 с. с ил.

Гудремон Э. Специальные стали. Т. 1, 2. М., «Металлургия», 1966, 736 с. и 1242 с.

Гуляев А. П., Малинина К. А., Саверина С. М. Инструментальные стали. Справочник. М., «Машиностроение», 1975. 272 с.

Инструментальные стали. Справочник. М., «Металлургия», 1977. 168 с. с ил. Авт.: Л. А. Позняк, С. И. Тишаев, Ю. М. Скрынченко и др.

Каменичный И. С. Спутник термиста. Киев, «Техніка», 1969. 230 с. с ил.

Марочник стали и сплавов. М., НИИмаш, 1971. 482 с. с ил.

Материалы в машиностроении. Справочник. Т. 2. Под ред. И. В. Кудрявцева. М., «Машиностроение», 1967. 496 с. с ил.

Мендельсон В. С., Рудман Л. И. Технология изготовления штампов и прессформ. М., «Машиностроение», 1971. 224 с. с ил.

Охрименко Я. М., Антоненко Л. И., Миронов Л. Н. Штампы для горячей обработки металлов и их эксплуатация. М., «Машиностроение», 1971. 212 с. с ил.

Позняк Л. А. Штамповые стали для холодного деформирования. М., «Металлургия», 1966. 147 с. с ил.

Попов А. А., Попова А. Е. Изотермические и термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита. М. — Свердловск., Машгиз, 1961. 432 с. с ил.

Рогалев А. М., Согрищин Ю. П. Влияние технологии горячей штамповки и свойств штамповых сталей на износ и стойкость штампов (обзор), серия С-Х-3. М., НИИмаш, 1971. 90 с. с ил.

Справочник машиностроителя. Т. 6. Под ред. С. А. Сателя. М., «Машиностроение», 1964. 540 с. с ил.

Справочник металлиста. Т. 2. Под ред. А. Г. Рахштадта и В. А. Брострема. М., «Машиностроение», 1976. 718 с. с ил.

Тепловые процессы при обработке металлов и сплавов давлением. М., «Высшая школа», 1973. 631 с. с ил. Авт.: Н. И. Яловой, М. А. Тылкин, П. И. Полухин, Д. И. Васильев.

Третьяков В. И. Металлокерамические твердые сплавы. М., Металлургиздат, 1962. 592 с. с ил.

Тылкин М. А. Повышение долговечности деталей металлургического оборудования. М., «Металлургия», 1971. 608 с. с ил.

Филинов С. А., Фиргер И. В. Справочник термиста. Л., «Машиностроение», 1975. 352 с. с ил.

Чапурова П. Н., Чернявский К. С. Структура спеченных твердых сплавов. М., «Металлургия», 1975. 198 с. с ил.

Штамповые стали и режимы их обработки для инструмента горячей и холодной объемной штамповки (Методические указания). Воронеж, ЭНИКмаш, 1971. 60 с.

Штампы для горячего деформирования металлов. М., «Высшая школа», 1977. 496 с. с ил. Авт.: М. А. Тылкин, Д. И. Васильев, А. М. Рогалев и др.

Глава VII

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СО СКВОЗНЫМ ПРОГРЕВОМ ИЗДЕЛИЙ В ПЕЧАХ

1. Нагрев при термической обработке

Температура нагрева и зерно стали

Основная задача нагрева стали при термической обработке со сквозным прогревом деталей (отжига, нормализации, закалки) — перевод исходной структуры в аустенит и получение возможно более мелкого зерна. Чем больше скорость нагрева деталей, тем при более высоких температурах происходит образование аустенита. Температура нагрева в области температур существования стабильного аустенита в значительной мере определяет рост зерна. Чем выше эта температура, тем интенсивнее растет зерно аустенита.

Для характеристики поведения стали при нагреве в отношении изменения размера зерна различают три вида зерна аустенита:

1. Начальное зерно. Под начальным зерном понимают аустенитное зерно, формирующееся непосредственно при превращении перлита в аустенит (в момент окончания превращения).

2. Наследственное (природное) зерно аустенита. Различают наследственно мелко-