

Лекция 10.

**Легированные конструкционные стали.
Инструментальные легированные стали.**

Строительные стали

В качестве строительных сталей используют:

- углеродистые стали обычного качества (Ст0... Ст6)
- низколегированные стали.

Низколегированные стали содержат не более 0.18 % C и в небольших количествах - Si, Mn, V, Cr, Ni, Nb и Cu.

Состав и свойства низколегированных сталей.

марка стали	Содержание, %				Свойства без термообработки		
	C	Si	Mn	Другие	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ , %
09Г2	≤ 0.12	0.17-0.37	1.4-1.8		450	310	21
09Г2С	≤ 0.12	0.5-0.8	1.3-1.4		480	330	21
17ГС	0.14-0.20	0.4-0.6	1.0-1.5		500	340	19
15ХСНД	0.12-0.18	0.4-0.7	0.4-0.7	Cr 0.6-0.9 Ni 0.3-0.6 Cu 0.2-0.4	500	350	21

Низколегированные стали подвергают нормализации (09Г2С, 17ГС), а также закалке и отпуску (15ХСНД).

Структура стали 09Г2С после нормализации с нагревом на 930 - 950°C.



Цементуемые легированные стали

Цементации подвергают в основном стали с 0,08-0,25%С. После цементации проводят закалку и низкий отпуск.

Состав цементуемых сталей.

Марка стали	Содержание, %				
	С	Mn	Cr	Ni	другие
хромистые					
15X	0,12-0,18	0,3-0,9	0,7-1,0	-	-
20X	0,17-0,23	0,5-0,8	0,7-1,0	-	-
хромомарганцевые					
18ХГТ	0,17-0,23	0,8-0,11	1,0-1,3	-	Ti 0,03-0,09
20ХГР	0,18-0,24	0,7-1,0	0,75-1,05	-	В 0,003%
хромоникелевые					
20ХН	0,17-0,23	0,3-0,8	0,4-0,7	1,0-1,4	-
12ХН3А	0,09-0,16	0,3-0,6	0,6-0,9	2,75-3,15	-
хромоникельмолибденовые					
18Х2Н4МА	0,14-0,20	0,25-55	1,35-1,65	4,0-4,5	Mo 0,3-0,4
18Х2Н4ВА	то же	то же	то же	то же	W 0,8-1,2%

Свойства сталей 15X, 12ХН3А и 18Х2Н4МА

Марка стали	Термическая обработка	$\sigma_{0,2}$ МПа	σ_B МПа	δ , %	ψ , %	KCU, МДж/м ²
15X	Закалка от 880°C, масло + закалка от 720-820°C, вода (масло) +отпуск (180°C)	500	700	12	45	0,7
12ХН3А	Закалка от 860°C, масло + закалка от 760-810°C, масло +отпуск (180°C)	700	950	11	55	0,9
18Х2Н4МА	Закалка от 950°C, воздух + закалка от 860°C, воздух +отпуск (200°C)	850	1150	12	50	1,0

Улучшаемые легированные стали.

Стали этой группы содержат 0.3 - 0.5 % С и подвергаются закалке и высокому отпуску.

Состав сталей.

Марка стали	Содержание, %				
	С	Mn	Si	Cr	Другие
Хромистые					
30Х	0,24-0,32	0,5-0,8	0,17-0,37	0,8-1,1	
40Х	0,36-0,44	0,5-0,8	0,17-0,37	0,8-1,1	
40ХФА	0,37-0,44	0,5-0,8	0,17-0,37	0,8-1,1	V 0,1-0,18
Хромомарганцевые					
35ХГФ	0,31-0,38	0,95-1,25	0,17-0,37	1,0-1,3	V 0,06-0,12
40ГТР	0,38-0,45	0,7-1,0	0,17-0,37	0,8-1,1	Ti 0,03-0,09 B 0,001-0,005
Хромокремнистые и хромокремнемарганцевые					
38ХС	0,32-0,42	0,3-0,6	1,0-1,4	1,3-1,6	
30ХГС	0,28-0,34	0,8-1,1	0,9-1,2	0,8-1,1	

Свойства сталей 30Х и 30ХГС после улучшения.

Марка стали	Термическая обработка	σ_{02} , МПа	$\sigma_{в}$, МПа	δ , %	Ψ , %	КСУ, МДж/м ²
30Х	закалка от 860°C, масло + отпуск при 550°C, масло (вода)	510	720	22	65	1,5
30ХГС	закалка от 880°C, масло + отпуск при 550°C, масло (вода)	850	1100	10	45	0,5

Состав и свойства улучшаемых легированных сталей

Состав сталей

Марка стали	Содержание, %					
	C	Mn	Cr	Ni	Mo	V
Хромоникелевые						
40ХН	0,36-0,44	0,17-0,37	0,45-0,75	1,0-1,4	-	-
30ХН3А	0,27-0,33	0,30-0,60	0,60-0,90	2,7-3,15	-	-
Хромоникельмолибденовые						
40ХН2МА	0,37-0,44	0,5-0,8	0,60-0,90	1,25-1,65	0,15-0,25	-
38ХН3МФА	0,33-0,40	0,25-0,50	1,20-1,50	3,0-3,5	0,35-0,45	0,10-0,18
18Х2Н4МА	0,14-0,20	0,25-0,50	1,35-1,65	4,0-4,4	0,30-0,40	-

Свойства сталей после закалки и отпуска при 600°C

Марка стали	$\sigma_{0,2}$ МПа	σ_B МПа	δ , %	ψ , %	KCU, МДж/м ²
40ХН	760	910	20	60	0,8
30ХН3А	830	930	21	64	1,4
40ХН2МА	930	1070	13	55	1,0
38ХН3МФА	1100	1200	12	50	0,8
18Х2Н4МА	710	940	19	70	1,8

Пружинные стали

Пружинные стали должны обладать высоким сопротивлением малым пластическим деформациям (предел упругости) и высоким пределом усталости при достаточной пластичности. Основные пружинные стали содержат около 0,5-0,7 % С и подвергаются закалке и среднему отпуску

Марка стали	Содержание, %				
	С	Si	Mn	Cr	другие
углеродистые					
65	0,62-0,70	0,17-0,37	0,5-0,8	-	-
75	0,72-0,80	0,17-0,37	0,5-0,8	-	-
кремнистые					
50С2	0,47-0,55	1,50 -2,00	0,6 -0,9	-	-
60С2	0,57-0,65	1,50 -2,00	0,6 -0,9	-	-
60С2ХА	0,56-0,64	1,40-1,80	0,4 - 0,7	0,70-1,00	-
60С2ХФА	0,56-0,64	1,40-1,80	0,4 - 0,7	0,90-1,20	V 0,1-0,2
хромистые и хромомарганцевые					
50ХФА	0,46-0,54	0,17-0,37	0,5-0,8	0,8-1,1	V 0,1-0,2
50ХГФА	0,48-0,54	0,17-0,37	0,8-1,0	0,95-1,1	V 0,1-0,2

Окончательная термическая обработка: закалка от 820-880°С в масле + средний отпуск при 410 - 480°С.

Свойства пружинных сталей

Марка стали	Термическая обработка	$\sigma_{0,2}$ МПа	σ_B МПа	δ %	ψ %
65	Закалка от 840°С, масло + отпуск (480°С)	800	1100	10	35
60С2	Закалка от 870°С, масло + отпуск (460°С)	1200	1300	6	30
60С2ХФА	Закалка от 950°С, масло + отпуск (450°С)	1680	1820	7	30

Подшипниковые стали

Подшипниковые стали должны обладать высокими твердостью, износостойкостью и контактной выносливостью.

Основные подшипниковые стали содержат около 1 % С и легированы хромом.

марка стали	Содержание , %			
	С	Mn	Si	Cr
ШХ15	0,95-1,05	0,20-0,40	0,17-0,37	1,30 - 1,65
ШХ15СГ	0,95-1,05	0,90-1,20	0,40-0,65	1,30 - 1,65

Маркировка: ШХ - обозначает шарикоподшипниковая хромистая, цифры 15 - среднее содержание хрома в десятых долях процента.

Предварительная термическая обработка: отжиг на зернистый перлит.

Окончательная термическая обработка: закалка от 840-860°С в масле + низкий отпуск при 150 - 170°С.

Твердость после окончательной термической обработки - 60-65 HRC.

Коррозионностойкие стали

Коррозионностойкими (нержавеющими) называют стали, которые способны сопротивляться коррозионному воздействию агрессивной среды.

Различают химическую и электрохимическую коррозию.

Межкристаллитная коррозия
аустенитных сталей.



Одним из видов электрохимической коррозии является

межкристаллитная коррозия.

Она распространяется по границам зерен от поверхности вглубь металла и резко снижает механические свойства.

Основной легирующий элемент коррозионностойких сталей - **хром**. При его содержании более 12% возникает высокая устойчивость против коррозии. Коррозионностойкие стали подразделяются на **хромистые** и **хромоникелевые**.

Хромистые коррозионностойкие стали

В зависимости от структуры, образующейся при охлаждении на воздухе, хромистые стали делятся на следующие классы:

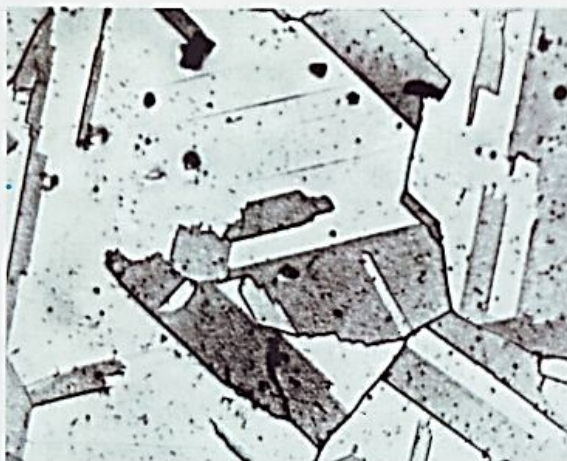
мартенситные, мартенситно-ферритные (содержат более 10 % феррита) и ферритные.

Марка стали	Содержание, %			Термическая обработка	$\sigma_{0,2}$ МПа	σ_B МПа	δ , %	Ψ , %
	C	Cr	Ti					
Стали мартенситного класса								
20X13	0,16- 0,25	12- 14	-	Закалка от 1000-1050°C+ отпуск 660-770°C	440	650	16	55
30X13	0,26- 0,35	12- 14	-	Закалка от 950-1020°C+ отпуск 700-750°C	590	730	14	40
40X13	0,36- 0,45	12- 14	-	Закалка от 1000-1050°C+ отпуск 600-650°C	890	1120	13	32
Стали мартенситно-ферритного класса								
12X13	0,09- 0,15	12- 14	-	Закалка от 1000-1050°C+ отпуск 700-770°C	410	590	20	60
Стали ферритного класса								
12X17	менее 0,12	16- 18	-	Отжиг 760-780°C	240	390	20	50
15X25T	менее 0,15	24- 27	0,15- 0,40	Отжиг 740-760°C	290	440	20	45

Хромоникелевые аустенитные коррозионностойкие стали

Марка стали	Содержание, %				Термическая обработка	$\sigma_{0,2}$ МПа	σ_B МПа	δ , %
	C	Cr	Ni	другие				
12X18H9	менее 0,12	17- 19	8,0- 9,5	-	Закалка от 1050 - 1100°C	190	520	45
04X18H10	менее 0,04	17- 19	9- 11	-	Закалка от 1000 - 1050°C	170	500	50
12X18H10T	менее 0,12	17- 19	9- 11	Ti 0,3-0,7	Закалка от 1050 - 1100°C	210	540	55
10X17H13M2T	менее 0,10	16- 18	12- 14	Ti 0,3-0,6 Mo 1,8-2,5	Закалка от 1050 - 1100°C	220	540	40

Структура стали 12X18H10T после закалки



x1000

Жаростойкие стали

Под *жаростойкими* (окалиностойкими) понимают стали, устойчивые к газовой коррозии при высоких температурах.

Основные легирующие элементы, повышающие жаростойкость - **хром, кремний и алюминий**.

Хром и алюминий образуют защитные пленки из Cr_2O_3 , Al_2O_3 , $\text{FeO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$, $\text{FeO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$, а кремний - из $2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$.

Различают две основных группы сталей:

1. Высокохромистые стали, имеющие **ферритную** структуру: **08X17T, 15X25T, 15X28, 05X25Ю5** и др.

Термическая обработка: *нормализация с нагревом до 760 - 800°C.*

2. Хромоникелевые стали с **аустенитной** структурой: **08X18H9T, 20X23H18, 20X25H20C2** и др.

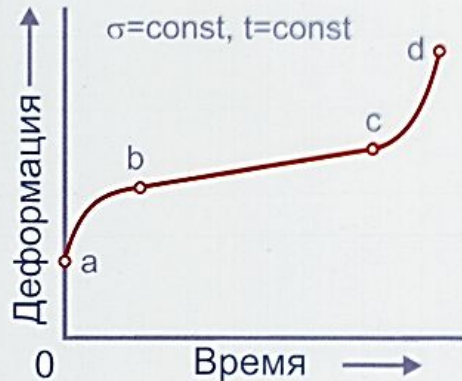
Термическая обработка: *закалка от 1100 - 1150°C с охлаждением в воде, масле или на воздухе:*

Жаропрочность и ползучесть

Жаропрочность - это способность металлов сопротивляться деформации и разрушению при длительном воздействии нагрузки при повышенных температурах.

Ползучесть - это медленное нарастание пластической деформации под действием напряжений, меньших предела текучести.

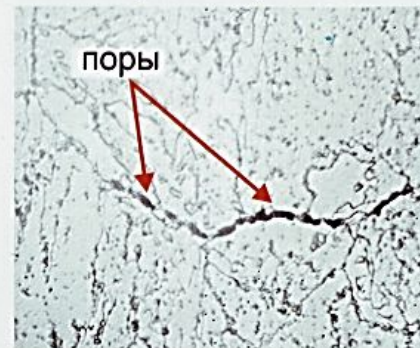
Кривая ползучести



- 0a** - деформация в момент приложения нагрузки;
- ab** - стадия *неустановившейся ползучести*;
- bc** - стадия *установившейся ползучести*;
- cd** - стадия *ускоренной ползучести*.

Разрушение при ползучести начинается с появления пор или клиновидных трещин на границах зерен. Они растут и объединяются, образуя макротрещины.

Повреждаемость стали 15X1M1Ф при ползучести



x800

Жаропрочные стали

Жаропрочные стали подразделяются на две группы:

- **теплоустойчивые** стали:

углеродистые, низколегированные, хромистые;

- **жаропрочные аустенитные** стали:

гомогенные (однофазные) стали, стали с карбидным упрочнением, стали с интерметаллидным упрочнением.

Теплоустойчивые углеродистые стали

Стали 12К, 15К, 20К, 22К применяют до 450°C.

Маркировка: буква К обозначает “котельная”; цифры - среднее содержание углерода в сотых долях процента.

Термическая обработка - нормализация.

Свойства сталей $\sigma_{0,2} = 220-280$ МПа, $\sigma_B = 380-490$ МПа, $\delta = 19 - 24\%$.

Теплоустойчивые низколегированные стали

Эти стали применяются до 580 °С

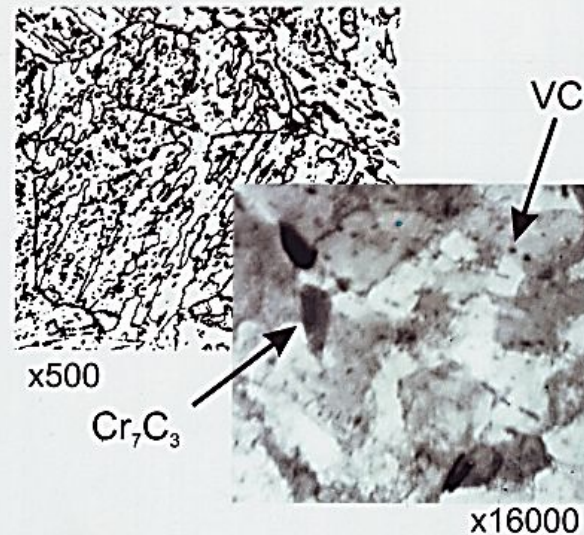
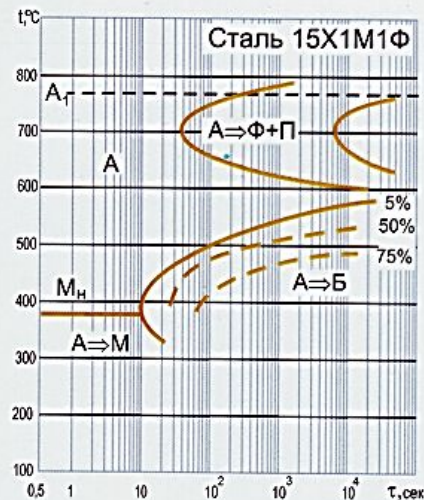
Марка стали	Содержание, %				Термическая обработка	$\sigma_{0,2}$ МПа	σ_B , МПа	δ , %
	C	Cr	Mo	V				
12X1MФ	0,08 0,15	0,9 - 1,2	0,25- 0,35	0,15- 0,30	Охлаждение от 950- 980°С на воздухе + отпуск 720 - 760°С	260	450	21
15X1M1Ф	0,10 0,16	1,1 - 1,4	0,9- 1,1	0,20- 0,25	Охлаждение от 1020- 1050°С на воздухе + отпуск 730 - 750°С	320	500	18

Сталь 15X1M1Ф

Диаграмма изотермического распада переохлажденного аустенита стали 15X1M1Ф

Оптимальными являются бейнитная и феррито-бейнитная структуры

C	Mn	Si	Cr	Mo	V	A ₁	M _s	T _c
0,16	0,64	0,76	0,76	0,20	0,03	760	380	1080



Теплоустойчивые хромистые стали

Эти стали применяются до 550 -620 °С

а) Стали с **10-12% Cr**, дополнительно легированные молибденом, вольфрамом, ванадием и ниобием.

В сталях, содержащих более 11% Cr, в структуре присутствует δ - феррит. При термической обработке и эксплуатации выделяются карбиды $M_{23}C_6$, M_7C_3 , MC , M_6C и фазы Лавеса Fe_2Mo , Fe_2W , $Fe_2(Mo,W)$.

Термическая обработка - закалка на мартенсит и высокий отпуск.

Марка стали	Содержание, %				Термическая обработка	$\sigma_{0,2}$ МПа	σ_B МПа	δ , %
	C	Cr	Mo	другие				
15X11MФ	0,12 0,19	10- 11,5	0,6- 0,8	V-0,35	Закалка от 1080 - 1100°C + отпуск 680-750°C	550	720	15
18X12BMФБР	0,15 0,22	11- 13	0,4- 0,6	W-0,55 V-0,22 Nb-0,3 B<0,003		Закалка от 1050 - 1150°C + отпуск 650-670°C	670	900

б) Стали с **5-10% Cr**, дополнительно легированные кремнием (сильхромы): **40X9C2, 40X10C2M**.

Эти стали обладают повышенной жаростойкостью и применяются при длительной эксплуатации до 500-600°C.

Термическая обработка - закалка от 1000-1050°C в масле и высокий отпуск при 720-780°C.

Жаропрочные аустенитные стали с карбидным упрочнением

Эти стали предназначены для работы при **650-750°C**
и высоких напряжениях

Марка стали	Содержание, %						
	C	Cr	Ni	Mn	Mo	V	другие
45X14H14B2M (ЭИ69)	0,4 -0,5	13-15	13-15	-	0,25-0,4	-	W 2,0-2,7
31X19H9MBT (ЭИ572)	0,28 - 0,35	18-20	8-10	-	1,0-1,5	-	W 1,0-1,5 Ti 0,2-0,5 Nb 0,2-0,5
37X12H8Г8МФБ (ЭИ481)	0,34 0,40	11,5- 13,5	7-8	7,5-9,5	1,1-1,4	1,25-1,35	Nb 0,25- 0,45
40X15H7Г7Ф2МС (ЭИ388)	0,38- 0,47	14-16	6-8	6-8	0,65-0,95	1,5-1,9	Si 0,9-1,4

Термическая обработка: **закалка** и **старение**.

Основные упрочняющие фазы:

в сталях 45X14H14B2M и 31X19H9MBT - $Me_{23}C_6$;

в сталях 37X12H8Г8МФБ и 40X15H7Г7Ф2МС- $Me_{23}C_6$ и VC

Микроструктура стали
37X12H8Г8МФБ



X300

Жаропрочные аустенитные стали и железоникелевые сплавы с интерметаллидным упрочнением

Эти материалы предназначены для работы при 550 - 750 °С

Марка стали или сплава	Содержание, %							
	C	Cr	Ni	Mo	W	Ti	Al	B
10X11H20T3P (ЭИ696)	<0,10	10-12,5	18-21	-	-	2,6-3,2		0,08
10X12H22T3MP (ЭП33)	<0,10	10-12,5	21-25	1,0-1,6	-	2,6-3,2		-
XH35BT (ЭИ612)	<0,12	14-16	34-38	-	2,8-3,5	1,1-1,5	-	-
XH35BTЮ (ЭИ787)	<0,08	14-16	33-37	-	2,9-3,5	2,4-3,2	0,7-1,4	

Термическая обработка - закалка и старение. Основные упрочняющие фазы - $Ni_3(Ti,Al)$ и Ni_3Ti с решеткой ГЦК (γ' - фаза).



X300

Микроструктура сплава XH35BT после закалки и старения

Классификация инструментальных сталей

К **инструментальным** относятся стали, применяемые для обработки материалов резанием и давлением.

Инструментальные стали подразделяются на:

- стали для режущего инструмента;
- штамповые стали для холодного деформирования;
- штамповые стали для горячего деформирования;
- стали для измерительного инструмента.

Стали для режущего инструмента

Требования к сталям: высокая твердость, прочность, износостойкость и теплостойкость при достаточной вязкости.

Теплостойкость - это способность материала сохранять высокую твердость в течении длительного времени при повышенных температурах.

Маркировка: углеродистые инструментальные стали маркируют буквой **У**, за ней следуют цифры, которые показывают среднее содержание углерода в десятых долях процента.

Сталь **У10** содержит около **1%** С.

Маркировка легированных сталей начинается с цифры, показывающей среднее содержание углерода в десятых долях процента. Если содержание углерода около 1 % цифра не ставится.

Сталь **9ХС** содержит около **0,95 %С**, а сталь **ХВГ** около **1%**.

Стали для режущего инструмента

Стали с низкой теплостойкостью

Высокая твердость этих сталей сохраняется до температур нагрева 200-250°C.

К этой группе сталей относятся:

- углеродистые стали небольшой прокаливаемости;
- легированные стали повышенной прокаливаемости.

1. Углеродистые стали небольшой прокаливаемости:

У7, У8, У9, У10, У11, У12, У13. Эти стали содержат от 0,7 до 1,3% С и подвергаются закалке и низкому отпуску.

Марка стали	Термическая обработка		Твердость, HRC
	$t_{\text{зак.}}^{\circ\text{C}}$	$t_{\text{отп.}}^{\circ\text{C}}$	
У7	800- 820	150-160 275-325	61-63 48-55
У8	780- 800	150-160 200-220	61-63 57-59
У9 - У13	760- 780	150-160 200-220	62-63 58-59

Стали для режущего инструмента

Стали с низкой теплостойкостью и повышенной прокаливаемостью

Стали применяются для изготовления инструмента сечением до 30-100 мм. Они подвергаются закалке и низкому отпуску.

Марка стали	Содержание, %					Термообработка		Твердость, HRC
	C	Mn	Si	Cr	другие	t _{зак.} , °C	t _{отп.} , °C	
9ХФ	0,8-0,9	0,3-0,6	0,15-0,35	0,4-0,7	V 0,15-0,3	820-840	200-220	58-60
9ХС	0,85-0,95	0,3-0,6	1,2-1,6	0,95-1,25	-	860-880	140-160	62-65
ХВГ	0,9-1,05	0,8-1,1	0,15-0,35	0,9-1,2	W 1,2-1,6	830-850	140-160	62-65
ХВГС	0,95-1,05	0,6-0,9	0,65-1,0	0,6-1,1	W 0,5-0,8 V 0,05-0,15	840-860	140-160	62-64

Стали для режущего инструмента

Быстрорежущие стали

Высокая твердость этих сталей сохраняется при нагреве до $600-640^{\circ}\text{C}$. Инструмент из этих сталей работает с высокими скоростями резания.

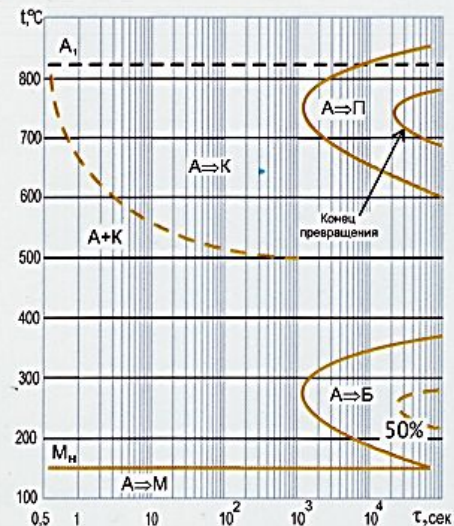
Маркировка: Марка стали начинается с буквы **P**, за которой следует число, обозначающее содержание **вольфрама**.

Марка стали	Содержание, %				
	C	W	Mo	Cr	V
P18	0,7-0,8	17-19	0,5-1,0	3,8-4,4	1,0-1,4
P9	0,85-0,95	8,5-10,5	до 1,0	3,8-4,4	2,0-2,6
P6M5	0,82-0,90	5,5-6,5	5,0-5,5	3,8-4,4	1,7-2,1

Структура стали P18



Диаграмма изотермического распада переохлажденного аустенита стали P6M5



Стали для измерительных инструментов

Требования к сталям: высокая твердость и износостойкость, сохранение постоянных линейных размеров и формы, способность получать высокую чистоту поверхности при полировании.

Для изготовления измерительных инструментов используют высокоуглеродистые хромистые стали.

Марка стали	Содержание, %		
	C	Mn	Cr
X	0,95-1,10	0,15-0,4	1,36-1,65
12X1	1,15-1,25	0,3-0,6	1,30-1,65
XГ	0,95-1,10	0,4-0,7	1,30-1,60

Термическая обработка: закалка и низкий отпуск. Твердость стали после термообработки - 62-64 HRC.

Для уменьшения количества остаточного аустенита в закаленной стали используют обработку холодом.

Штамповые стали для холодного деформирования

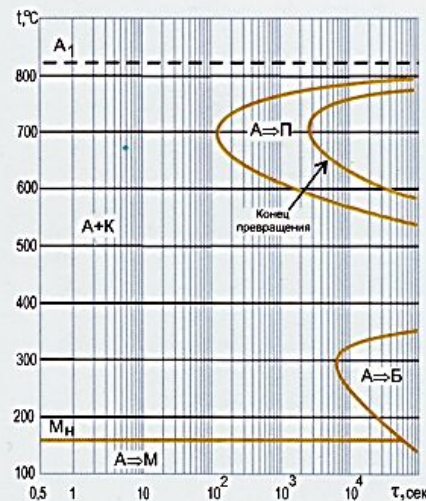
Требования к сталям: высокая **твердость**, **прочность** и **износостойкость** в сочетании с удовлетворительной вязкостью.

1. Стали повышенной износостойкости

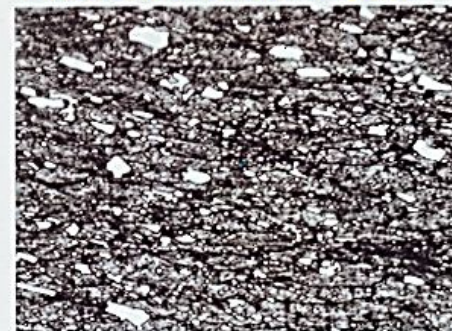
К этой группе относятся высоколегированные стали с высоким содержанием **хрома** (6-12%). Высокую их износостойкость в основном обеспечивает наличие в стали карбидов **Me₇C₃** на основе хрома, объемная доля которых достигает 12-24%.

Марка стали	Содержание, %				Термообработка		Твердость, HRC
	C	Cr	V	другие	t _{зак.} , °C	t _{зак.} , °C	
X12Φ1	1,25-1,45	11-12,5	0,7-0,9	-	1000-1020	170-200	61-63
X12M	1,45-1,65	11-12,5	0,15-0,3	Mo 0,4-0,6	1000-1020	170-200	61-63
X6BΦ	1,05-1,15	5,5-6,5	0,5-0,8	W 1,1-1,5	980-1000	150-170	61-63

Диаграмма изотермического распада аустенита стали X12M



Структура стали X12M после закалки и отпуска



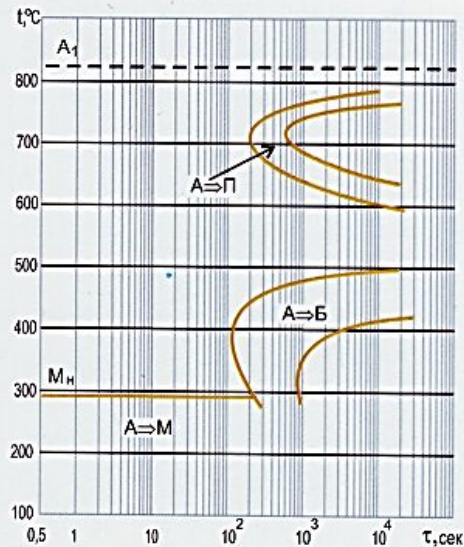
Сквозная прокаливаемость при охлаждении в масле до **100 мм** для сталей **X12Φ1** и **X12M** и до **80 мм** для стали **X6BΦ**

Штамповые стали для холодного деформирования

2. Стали повышенной вязкости

Марка стали	Содержание, %				Термообработка		Твердость, HRC
	C	Si	Cr	W	$t_{\text{зак.}}$, °C	$t_{\text{отп.}}$, °C	
4XB2C	0,35-0,45	0,6-0,9	1,0-1,3	2,0-2,5	860-900	200-250	54-59
5XB2C	0,45-0,55	0,8-1,1	0,9-1,2	1,8-2,3	860-900	430-470	47-52
6XB2C	0,55-0,80	0,5-0,8	1,0-1,3	2,2-2,7	860-900	430-470	47-52

Диаграмма изотермического распада переохлажденного аустенита стали 5XB2C



Стали **5XB2C** и **6XB2C** подвергают изотермической закалке. Для стали **5XB2C** ее режим: нагрев до **980-1000°C** - охлаждение в расплаве солей до **300°C**, выдержка **30 мин** - охлаждение на воздухе. Такая обработка при твердости около **52 HRC** обеспечивает ударную вязкость **0,6-0,7 МДж/м²**, тогда как после закалки на мартенсит и отпуска на такую же твердость, ударная вязкость равна **0,2-0,25 МДж/м²**.

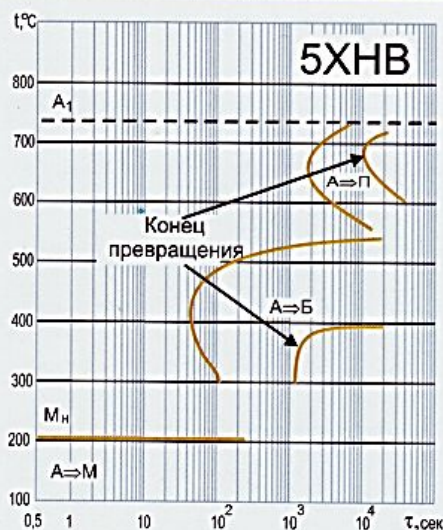
Штамповые стали для горячего деформирования

Требования к сталям: высокая **прочность** при повышенных температурах, высокая **теплостойкость**, **износостойкость** и **разгаростойкость** при достаточной вязкости.

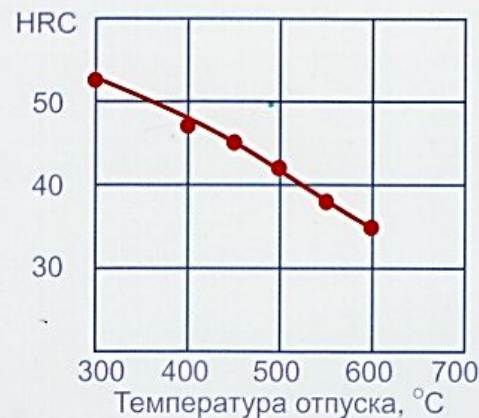
Разгаростойкость - это способность стали выдерживать многократные нагревы и охлаждения без образования трещин. Стали данной группы содержат **0,3-0,6%** углерода и подвергаются **закалке и высокому отпуску**.

1. Стали для изготовления крупных штампов, работающих с ударными нагрузками, при относительно невысоких температурах (500 - 550°C).

Марка стали	Содержание, %				Термообработка		Твердость, HRC
	C	Cr	Ni	другие	$t_{\text{зак.}}$ °C	$t_{\text{отп.}}$ °C	
5ХНМ	0,50-0,60	0,5-0,8	1,4-1,8	Mo 0,15-0,3	840 -860	500 - 550	40-45
5ХНВ	0,50-0,60	0,5-0,8	1,4-1,8	W 0,4-0,7	840 -860	500 - 550	40-45



Изменение твердости стали 5ХНВ при отпуске



Штамповые стали для горячего деформирования

2. Стали для изготовления штампов, работающих при температурах до 600 - 700°С .

К этой группе относятся **вторичнотвердеющие** стали. Основные упрочняющие фазы, выделяющиеся при отпуске - **Me₃C** на основе ванадия и **Me₆C** на основе молибдена и вольфрама.

Марка стали	Содержание, %				Термообработка		Твердость, HRC
	C	Si	Cr	другие	t _{зак.} , °C	t _{отп.} , °C	
4X5MΦC	0,32-0,40	0,9-1,2	4,5-5,5	Mo 1,2-1,5 V 0,3-0,5	1000 - 1020	540 - 560	48-50
4X4BМΦC	0,37-0,44	0,6-1,2	3,2-4,0	Mo 0,6-0,9 W 0,8-1,2 V 0,6-0,95	1050 - 1070	620 - 640	48-50
3X2B8Φ	0,30-0,40	0,15-0,4	2,2-2,7	W 7,5-8,5 V 0,2-0,5	1130 - 1150	630 - 660	44-47

Механические свойства штамповых сталей при 600°С

Марка стали	σ _B , МПа	δ, %	ψ, %	КСУ, МДж/м ²
5ХНВ	500	42	85	1,2
4X5MΦC	980	15	58	0,5
4X4BМΦC	1100	15	50	0,5
3X2B8Φ	1180	11	32	0,35

Твердые сплавы для режущего инструмента

Твердые сплавы - это сплавы, изготовленные методом порошковой металлургии и состоящие из карбидов тугоплавких металлов (WC, TiC, TaC), соединенных кобальтовой связкой.

Твердые сплавы сочетают высокую **твердость** (74-76HRC) и **износостойкость** с высокой **теплостойкостью** и применяются для резания с высокими скоростями.

Различают 3 группы сплавов.

1. **Вольфрамовые** сплавы (система **WC-Co**).

ВК3, ВК6, ВК8, ВК10, ВК20 и другие.

Они маркируются буквами **ВК** и цифрой, показывающей содержание кобальта в процентах.

2. **Титановольфрамовые** сплавы (система **TiC-WC-Co**).

T30K4, T15K6, T5K10 и другие.

Они маркируются буквами **Т** и **К** и цифрами, стоящими за этими буквами, показывающими содержание в процентах титана и кобальта.

3. **Титанотанталовольфрамовые** сплавы (система **TiC-TaC-WC-Co**).

ТТ7К12, ТТ8К6 и другие.

В маркировке после букв **ТТ** стоит цифра, указывающая количество карбидов титана и вольфрама в процентах. Цифра после буквы **К** указывает содержание кобальта.

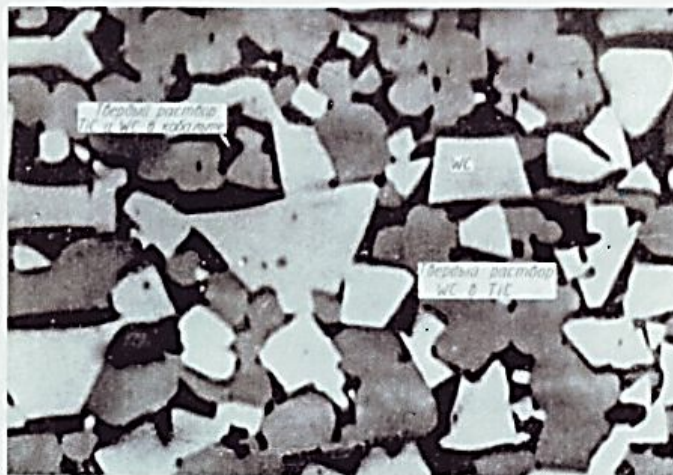
Твердые сплавы для режущего инструмента

Микроструктура вольфрамового сплава BK15.



X3000

Микроструктура титановольфрамового сплава T15K6



X3000