

## **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	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\delta$ , %
09Г2	$\leq 0.12$	0.17-0.37	1.4-1.8		450	310	21
09Г2С	$\leq 0.12$	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
<b>хромистые</b>					
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	-	-
<b>хромомарганцевые</b>					
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%
<b>хромоникелевые</b>					
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	-
<b>хромоникельмолибденовые</b>					
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	$\sigma_B$ МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	KCU, МДж/м <sup>2</sup>
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
<u>Хромистые</u>					
30X	0,24-0,32	0,5-0,8	0,17-0,37	0,8-1,1	
40X	0,36-0,44	0,5-0,8	0,17-0,37	0,8-1,1	
40XФА	0,37-0,44	0,5-0,8	0,17-0,37	0,8-1,1	V 0,1-0,18
<u>Хромомарганцевые</u>					
35XГФ	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
<u>Хромокремнистые и хромокремнемарганцевые</u>					
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 30X и 30ХГС после улучшения.

Марка стали	Термическая обработка	$\sigma_{02}$ , МПа	$\sigma_{в}$ , МПа	$\delta$ , %	$\Psi$ , %	КСУ, МДж/м <sup>2</sup>
30X	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
<b>Хромоникелевые</b>						
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	-	-
<b>Хромоникельмолибденовые</b>						
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°С

Марка стали	$\sigma_{0,2}$ МПа	$\sigma_B$ МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	КСУ, МДж/м <sup>2</sup>
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
<b>углеродистые</b>					
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	-	-
<b>кремнистые</b>					
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
<b>хромистые и хромомарганцевые</b>					
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	$\sigma_B$ МПа	$\delta$ %	$\psi$ %
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:

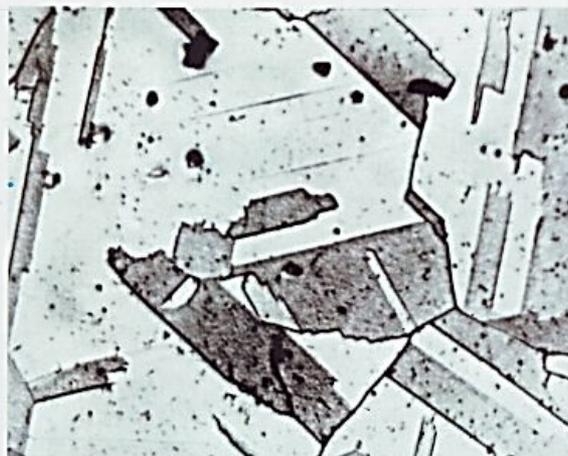
мартенситные, мартенситно-ферритные (содержат более 10 % феррита) и ферритные.

Марка стали	Содержание, %			Термическая обработка	$\sigma_{0,2}$ МПа	$\sigma_B$ МПа	$\delta$ , %	$\Psi$ , %
	C	Cr	Ti					
<b>Стали мартенситного класса</b>								
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
<b>Стали мартенситно-ферритного класса</b>								
12X13	0,09- 0,15	12- 14	-	Закалка от 1000-1050°C+ отпуск 700-770°C	410	590	20	60
<b>Стали ферритного класса</b>								
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	$\sigma_B$ МПа	$\delta$ , %
	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  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ , 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.

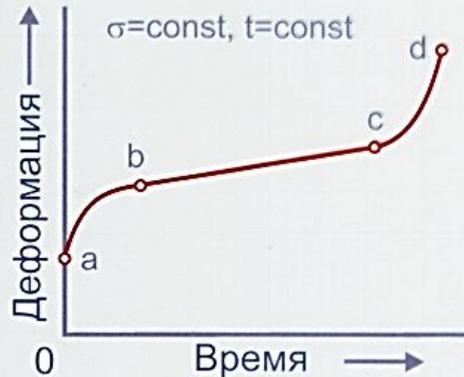
Термическая обработка: *закалка от 1100 - 1150°C с охлаждением в воде, масле или на воздухе:*

# 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.

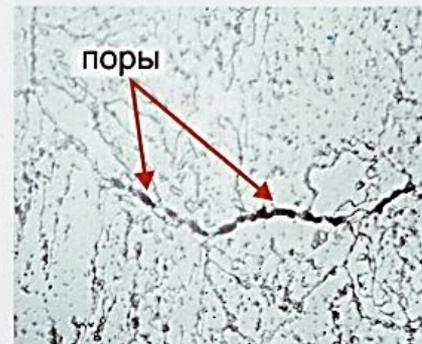
## Кривая ползучести



- 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

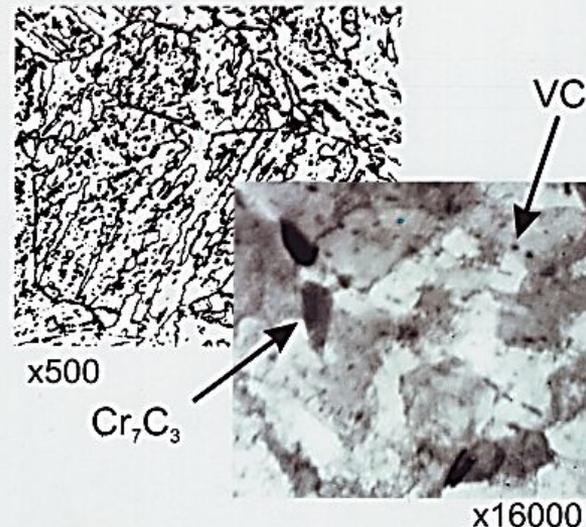
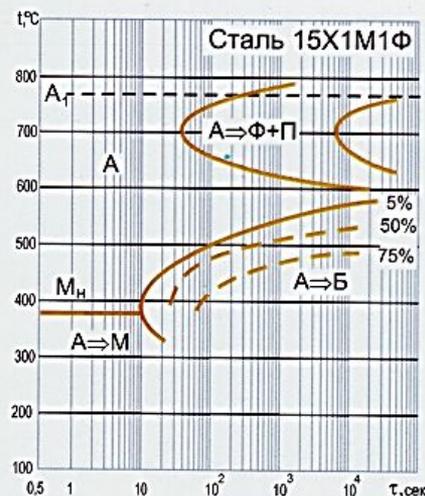
Марка стали	Содержание, %				Термическая обработка	$\sigma_{0,2}$ МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %
	C	Cr	Mo	V				
12X1MФ	0,08 0,15	0,9 - 1,2	0,25- 0,35	0,15- 0,30	Охлаждение от 950- 980°С на воздухе + отпуск 720 - 760°С	260	450	21
15X1M1Ф	0,10 0,16	1,1 - 1,4	0,9- 1,1	0,20- 0,25	Охлаждение от 1020- 1050°С 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 <sub>1</sub>	M <sub>s</sub>	T <sub>c</sub>
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  $\delta$  - 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	$\sigma_B$ МПа	$\delta$ , %
	C	Cr	Mo	другие				
15X11МФ	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
18X12ВМФБР	0,15 0,22	11- 13	0,4- 0,6	W-0,55 V-0,22 Nb-0,3 В<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

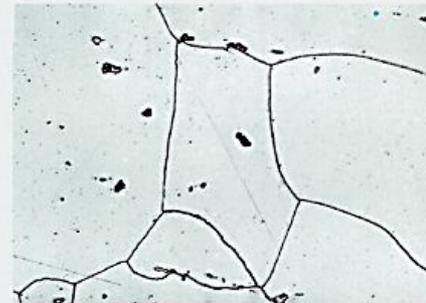
Термическая обработка: **закалка** и **старение**.

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 ( $\gamma'$ - 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 <sub>зак.</sub> , °C	t <sub>отп.</sub> , °C	
<b>9ХФ</b>	0,8-0,9	0,3-0,6	0,15-0,35	0,4-0,7	<b>V</b> 0,15-0,3	<b>820-840</b>	<b>200-220</b>	58-60
<b>9ХС</b>	0,85-0,95	0,3-0,6	1,2-1,6	0,95-1,25	-	<b>860-880</b>	<b>140-160</b>	62-65
<b>ХВГ</b>	0,9-1,05	0,8-1,1	0,15-0,35	0,9-1,2	<b>W</b> 1,2-1,6	<b>830-850</b>	<b>140-160</b>	62-65
<b>ХВГС</b>	0,95-1,05	0,6-0,9	0,65-1,0	0,6-1,1	<b>W</b> 0,5-0,8 <b>V</b> 0,05-0,15	<b>840-860</b>	<b>140-160</b>	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.

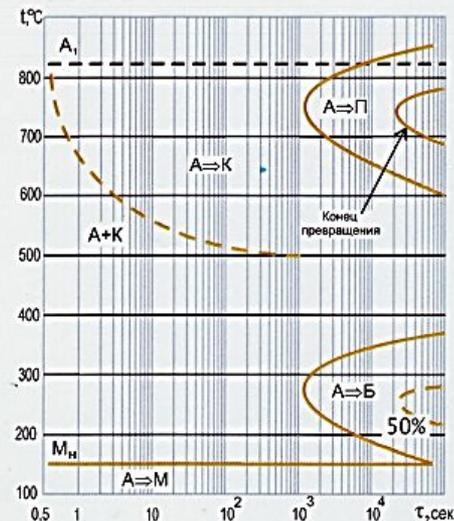
**Маркировка:** Марка стали начинается с буквы **P**, за которой следует число, обозначающее содержание **вольфрама**.

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

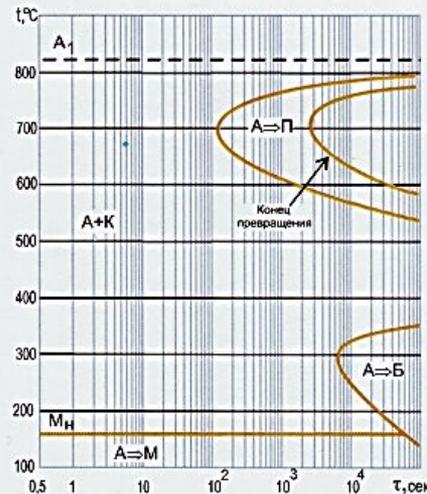
**Требования к сталям:** высокая **твердость**, **прочность** и **износостойкость** в сочетании с удовлетворительной вязкостью.

## 1. Стали повышенной износостойкости

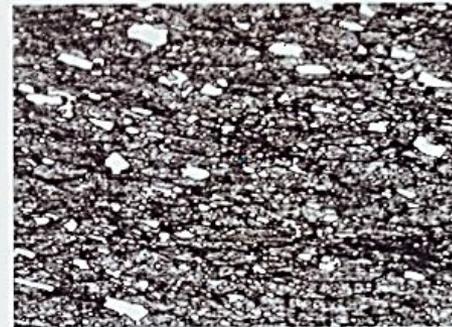
К этой группе относятся высоколегированные стали с высоким содержанием **хрома** (6-12%). Высокую их износостойкость в основном обеспечивает наличие в стали карбидов **Me<sub>7</sub>C<sub>3</sub>** на основе хрома, объемная доля которых достигает 12-24%.

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

Диаграмма изотермического распада аустенита стали X12M



Структура стали X12M после закалки и отпуска



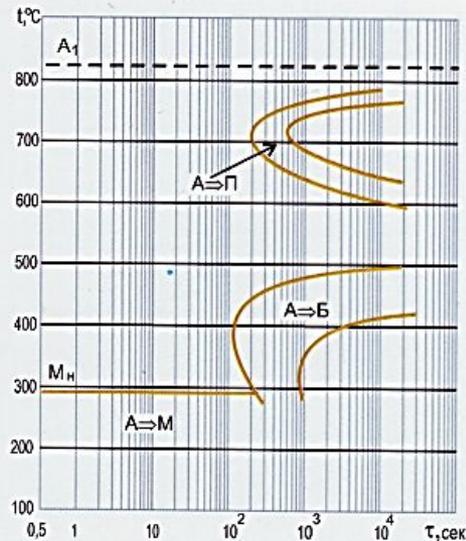
Сквозная прокаливаемость при охлаждении в масле до **100 мм** для сталей **X12Φ1** и **X12M** и до **80 мм** для стали **X6BΦ**

# Штамповые стали для холодного деформирования

## 2. Стали повышенной вязкости

Марка стали	Содержание, %				Термообработка		Твердость, HRC
	C	Si	Cr	W	$t_{\text{зак.1}}^{\circ\text{C}}$	$t_{\text{отп.1}}^{\circ\text{C}}$	
<b>4XB2C</b>	0,35-0,45	0,6-0,9	1,0-1,3	2,0-2,5	<b>860-900</b>	<b>200-250</b>	54-59
<b>5XB2C</b>	0,45-0,55	0,8-1,1	0,9-1,2	1,8-2,3	<b>860-900</b>	<b>430-470</b>	47-52
<b>6XB2C</b>	0,55-0,80	0,5-0,8	1,0-1,3	2,2-2,7	<b>860-900</b>	<b>430-470</b>	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/м<sup>2</sup>**, тогда как после закалки на мартенсит и отпуска на такую же твердость, ударная вязкость равна **0,2-0,25 МДж/м<sup>2</sup>**.

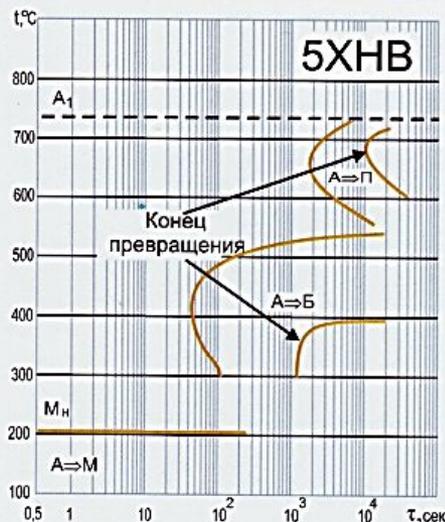
# Штамповые стали для горячего деформирования

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

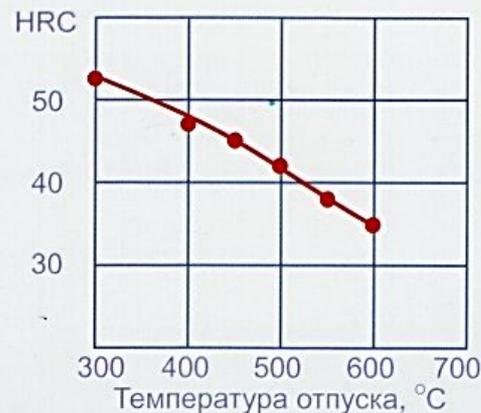
**Разгаростойкость** - это способность стали выдерживать многократные нагревы и охлаждения без образования трещин. Стали данной группы содержат **0,3-0,6%** углерода и подвергаются **закалке и высокому отпуску**.

**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	
<b>5ХНМ</b>	0,50-0,60	0,5-0,8	1,4-1,8	Mo 0,15-0,3	<b>840 -860</b>	<b>500 - 550</b>	40-45
<b>5ХНВ</b>	0,50-0,60	0,5-0,8	1,4-1,8	W 0,4-0,7	<b>840 -860</b>	<b>500 - 550</b>	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 - **Me<sub>3</sub>C** на основе ванадия и **Me<sub>6</sub>C** на основе молибдена и вольфрама.

Марка стали	Содержание, %				Термообработка		Твердость, HRC
	C	Si	Cr	другие	t <sub>зак.</sub> , °C	t <sub>отп.</sub> , °C	
<b>4X5MΦC</b>	0,32-0,40	0,9-1,2	4,5-5,5	<b>Mo</b> 1,2-1,5 <b>V</b> 0,3-0,5	<b>1000 -1020</b>	<b>540 - 560</b>	48-50
<b>4X4BMΦC</b>	0,37-0,44	0,6-1,2	3,2-4,0	<b>Mo</b> 0,6-0,9 <b>W</b> 0,8-1,2 <b>V</b> 0,6-0,95	<b>1050 -1070</b>	<b>620 - 640</b>	48-50
<b>3X2B8Φ</b>	0,30-0,40	0,15-0,4	2,2-2,7	<b>W</b> 7,5-8,5 <b>V</b> 0,2-0,5	<b>1130 -1150</b>	<b>630 - 660</b>	44-47

Механические свойства штамповых сталей при 600°С

Марка стали	σ <sub>B</sub> , МПа	δ, %	ψ, %	КСУ, МДж/м <sup>2</sup>
<b>5ХНВ</b>	500	42	85	1,2
<b>4X5MΦC</b>	980	15	58	0,5
<b>4X4BMΦC</b>	1100	15	50	0,5
<b>3X2B8Φ</b>	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.

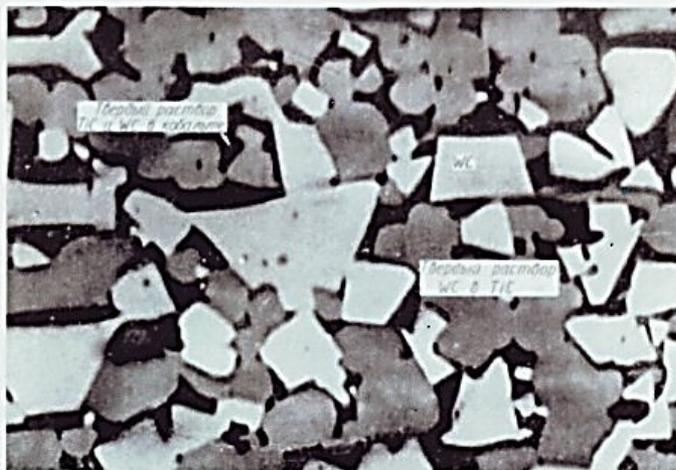
# Твердые сплавы для режущего инструмента

Микроструктура вольфрамового сплава BK15.



X3000

Микроструктура титановольфрамового сплава T15K6



X3000