

ГУМРФ им. Адмирала С.О. Макаров
Кафедра технологии материалов и материаловедения

ПРОМЫШЛЕННЫЕ СТАЛИ

- 1. Конструкционные углеродистые и легированные стали**
- 2. Жаропрочные стали**
- 3. Инструментальные стали**
- 4. Износостойкие стали**

4.1. Конструкционные углеродистые и легированные стали

Конструкционные стали

Конструкционными называются стали, предназначенные для изготовления деталей машин механизмов и конструкций. Они должны обладать высокой **конструктивной прочностью**, под которой понимают комплекс механических свойств, обеспечивающих надежную работу материала в условиях эксплуатации.

По химическому составу конструкционные стали подразделяются на:

углеродистые

легированные

низколегированные (содержат не более 2,5% легирующих элементов)

среднелегированные (содержат от 2,5 до 10% легирующих элементов)

высоколегированные (содержат более 10% легирующих элементов)

По назначению конструкционные стали подразделяются на:

- строительные,
- машиностроительные,
- стали с особыми свойствами.

К группе машиностроительных относятся **улучшаемые** легированные стали, **цементуемые** легированные стали, **подшипниковые** стали. **пружинные** стали и др.

Группу сталей с особыми свойствами составляют **коррозионностойкие**, **жаростойкие**, **жаропрочные** стали и др.

Углеродистые конструкционные стали.

Они делятся на два класса:

- стали обыкновенного качества;
- качественные стали.

1. Углеродистые стали обыкновенного качества

Их маркируют буквами **Ст** и цифрами 0,1,2,3,4,5 и 6, определяющими их химический состав.

марка стали	Ст 0	Ст 1	Ст 2	Ст 3	Ст 4	Ст 5	Ст 6
содержание С, %	не более 0.23	0.06-0.12	0.09-0.15	0.09-0.15	0.14-0.22	0.28-0.37	0.38-0.49
σ_B , МПа	не менее 310	320-340	340-440	380-490	420-540	500-640	600-670
δ , % не менее	20	31	29	23	21	17	12

В зависимости от условий раскисления различают стали: спокойные "сп", полуспокойные "пс" и кипящие "кп".

Например: Ст 2сп, Ст 2пс, Ст 2кп.

Концентрация марганца в сталях - 0.25 - 0.80 %.

Концентрация кремния в кипящих, полуспокойной и спокойной сталях не более 0.05 %, 0.05 - 0.15 % и 0.15 - 0.30 %, соответственно.

Допустимое содержание фосфора и серы - 0.04 и 0.05 %, соответственно.

В некоторых сталях допускается повышенное содержание марганца до 1,1 - 1,2 % . Тогда в маркировку добавляется буква **Г**.

Например: Ст 3Гсп.

Углеродистые конструкционные стали.

2. Углеродистые качественные стали

По содержанию углерода они подразделяются на
низкоуглеродистые (менее 0.25% C)
среднеуглеродистые (0.3 - 0.5% C)
высокоуглеродистые (0.6 - 0.8% C)

Стали содержат 0.35 - 0.80% Mn, 0.17- 0.37% Si.
Содержание примесей S < 0.04% и P < 0.035%.

Маркировка: стали маркируют двумя цифрами, указывающими среднее содержание углерода в сотых долях процента.

Состав стали и их свойства после нормализации.

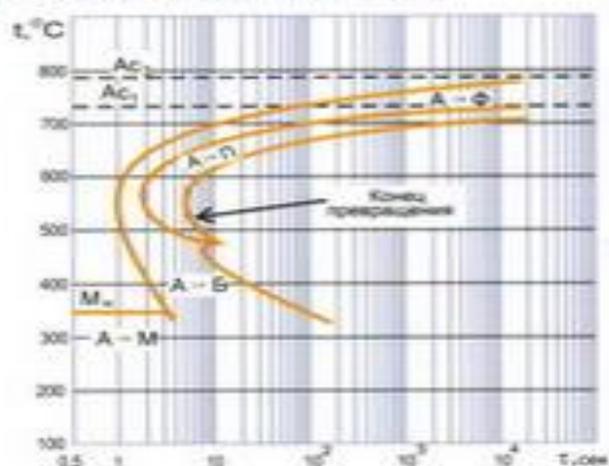
марка стали	08	10	20	30	40	50	60	70
содержание C, %	0.05-0.12	0.07-0.14	0.17-0.24	0.27-0.35	0.37-0.45	0.47-0.55	0.57-0.65	0.67-0.75
σ_T , МПа	200	210	250	300	340	380	410	430
σ_B , МПа	330	340	420	500	580	640	690	730
δ , %	33	31	25	21	19	14	12	9
ψ , %	60	55	55	50	45	40	35	30

Термическая обработка качественных углеродистых сталей

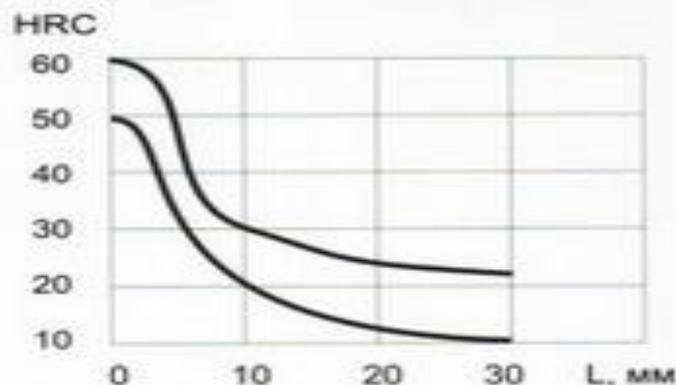
Термическая обработка стали 45

1. Нормализация: нагрев на 870-900°C, охлаждение на воздухе
2. Улучшение: закалка от 820-840°C в воде + отпуск при 560-620°C

Диаграмма изотермического распада переохлажденного аустенита стали 45



Полоса прокаливаемости стали 45



Механические свойства стали 45

Обработка	$\sigma_{в}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %
Нормализация	660	340	17
Закалка + отпуск при 650°C	660	380	22

Автоматные стали

Автоматные стали отличаются хорошей обрабатываемостью резанием и предназначены для изготовления деталей массового производства на станках-автоматах. Они имеют повышенное содержание серы и фосфора или легированы свинцом.

Маркировка: стали обозначаются буквой **А** и цифрами, указывающими среднее содержание углерода в сотых долях процента.

Если в стали присутствует свинец, то в маркировке после буквы **А** ставится буква **С**.

марка стали	Содержание, %					Свойства без термообработки	
	C	Mn	S	P	Pb	σ_B , МПа	δ , %
A12	0.08-0.12	0.7-1.0	0.08-0.20	0.08-0.15		420	22
A20	0.17-0.24	0.7-1.0	0.08-0.15	<0.06		460	20
A40Г	0.37-0.45	1.2-1.55	0.18-0.30	<0.05		600	14
АС40	0.37-0.45	0.8-1.1	0.15-0.30	<0.04	0.15-0.3	580	19

Структура стали АС45Г2



Легированные конструкционные стали

Большинство легированных конструкционных сталей являются *доэвтектоидными*.

Основные легирующие элементы в этих сталях:

хром (0,8-2,5%), кремний (0,4-1,2%), марганец (0,8-1,8%), никель (1,0-4,5%), молибден (0,15-0,4%), вольфрам (0,5-1,2), ванадий (0,06-0,3%), титан (0,03-0,09%), бор (0,002-0,005%).

В зависимости от состава различают стали:

- хромистые, -никелевые, - хромоникелевые и т.д.

Маркировка: в начале марки указывают содержание углерода в сотых долях процента; далее следует обозначение легирующих элементов и их содержание.

Легирующие элементы обозначаются: **Х**-хром, **Г**-марганец, **С**-кремний, **Н**-никель, **М**-молибден, **В**-вольфрам, **К**-кобальт, **Ф**-ванадий, **Б**-ниобий, **Т**-титан, **Ю**-алюминий, **Д**-медь, **Р**-бор.

Буква **А** в середине маркировки указывает на содержание в стали азота, как легирующего элемента. Буква **А** в конце марки означает, что сталь высококачественная (S и $P < 0,025\%$).

Цифры после букв указывают содержание легирующего элемента, с округлением до целого числа. При содержании элемента до 1,5% цифра не ставится.

Например: сталь **30ХНЗА** содержит в среднем:

0,30% углерода,

1,0% хрома,

3% никеля,

высококачественная.

Строительные стали

В качестве строительных сталей используют:

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

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

Состав и свойства низколегированных сталей.

марка стали	Содержание , %				Свойства без термообработки		
	С	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°С.



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					
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
Хромомарганцевые					
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
Хромокремнистые и хромокремнемарганцевые					
38XC	0,32-0,42	0,3-0,6	1,0-1,4	1,3-1,6	
30XГС	0,28-0,34	0,8-1,1	0,9-1,2	0,8-1,1	

Свойства сталей 30X и 30XГС после улучшения.

Марка стали	Термическая обработка	σ_{02} , МПа	$\sigma_{в}$, МПа	δ , %	Ψ , %	KCU, МДж/м ²
30X	закалка от 860°C, масло + отпуск при 550°C, масло (вода)	510	720	22	65	1,5
30XГС	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 , %	КСУ, 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

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

Свойства сталей 15X, 12ХН3А и 18Х2Н4МА

Марка стали	Термическая обработка	$\sigma_{0,2}$ МПа	σ_B МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, 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

Подшипниковые стали

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

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

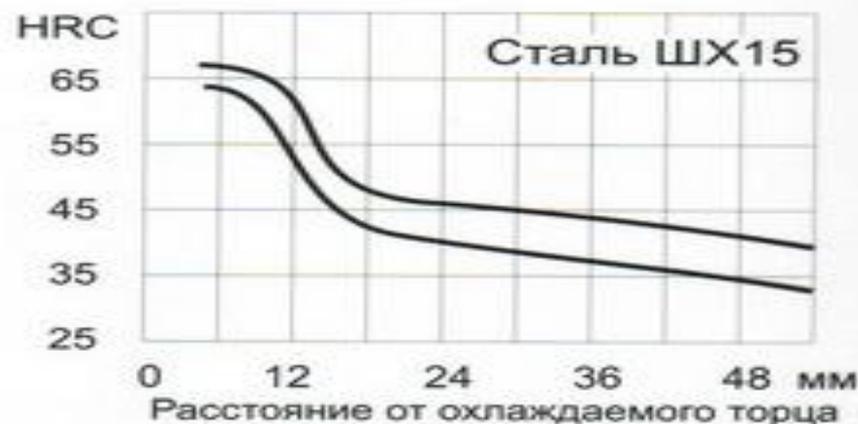
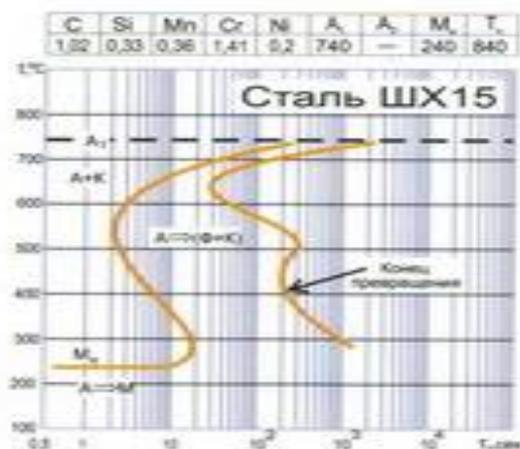
марка стали	Содержание , %			
	С	Mn	Si	Cr
ШХ15	0,95-1,05	0,20-0,40	0,17-0,37	1,30 - 1,65
ШХ15СГ	0,95-1,05	0,90-1,20	0,40-0,65	1,30 - 1,65

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°C в масле + низкий отпуск при 150 - 170°C.

Твердость после окончательной термической обработки - 60-65 HRC.



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	√ 0,1-0,2
хромистые и хромомарганцевые					
50ХФА	0,46-0,54	0,17-0,37	0,5-0,8	0,8-1,1	√ 0,1-0,2
50ХГФА	0,48-0,54	0,17-0,37	0,8-1,0	0,95-1,1	√ 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

4.2. ЖАРОПРОЧНЫЕ СТАЛИ.

Жаропрочность - способность материала сопротивляться деформации и разрушению при высоких температурах.

Жаропрочностью стали называется способность работать под нагрузкой при высоких температурах.

Жаропрочность в сталях достигается легированием тугоплавкими элементами (хром, ванадий, вольфрам, молибден).

Эти элементы затрудняют диффузионные процессы и повышают температуру рекристаллизации.

Жаропрочностью обладают также хромоникелевые стали аустенитного класса (диффузия в плотноупакованной решетке ГЦК существенно затруднена).

Одним из путей повышения жаропрочности сталей является создание гетерогенной структуры с равномерно распределенными дисперсными частицами упрочняющей фазы

При увеличении скорости диффузии жаропрочность стали понижается

Жаропрочность сталей характеризуют пределом ползучести и пределом длительной прочности

Медленное нарастание пластической деформации под действием напряжений, меньших предела текучести, называется **ползучестью**

Ползучесть – явление непрерывной деформации под действием постоянного напряжения.

Увеличение скорости диффузии способствует развитию процессов ползучести и релаксации напряжений, то есть снижает жаропрочность стали.

Предел ползучести - это условное растягивающее напряжение, при котором скорость и деформация ползучести за определенное время достигает заданной величины.

Длительная прочность это условное напряжение, под действием которого сталь при данной температуре разрушается через заданный промежуток времени.

Способность материала сопротивляться химической коррозии при высоких температурах называется **жаростойкостью**.

Способность сохранять мартенситную структуру и соответственно высокую твердость и износостойкость при длительном нагреве называется **теплостойкостью**

Для изготовления деталей паровых котлов, длительно работающих при температурах 450–580° С, целесообразно использовать жаропрочные стали перлитного класса. Это низкоуглеродистые стали, которые могут содержать до 2–5% карбидообразующих легирующих элементов (Cr, Mo, V).

При температурах до 850 °С могут работать **нимоники**

4.2. Жаропрочные стали

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, $\delta = 19 - 24\%$.

4.2. Жаропрочные стали

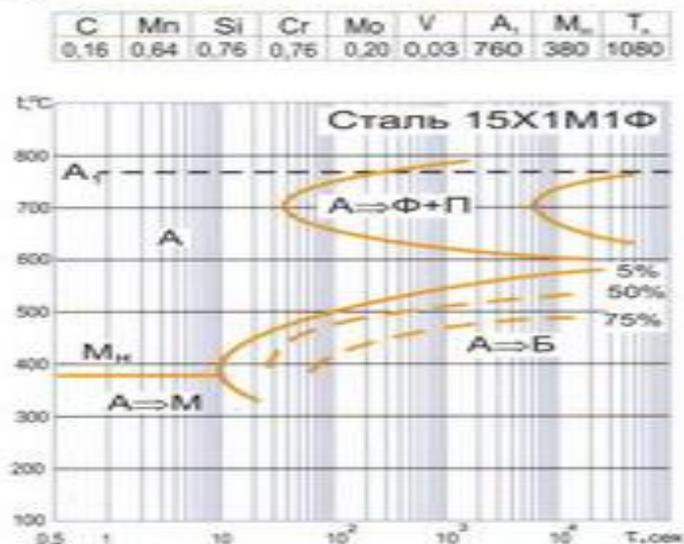
Теплоустойчивые низколегированные стали

Эти стали применяются до 580 °С

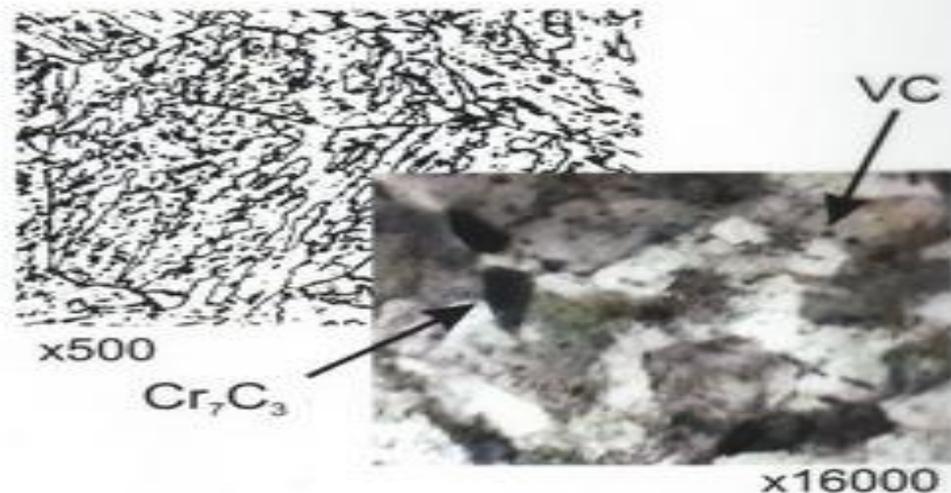
Марка стали	Содержание, %				Термическая обработка	$\sigma_{0,2}$ МПа	σ_{B3} МПа	δ , %
	C	Cr	Mo	V				
12X1MФ	0,08 0,15	0,9 - 1,2	0,25- 0,35	0,15- 0,30	Охлаждение от 950-980°С на воздухе + отпуск 720 - 760°С	260	450	21
15X1M1Ф	0,10 0,16	1,1 - 1,4	0,9- 1,1	0,20- 0,25	Охлаждение от 1020-1050°С на воздухе + отпуск 730 - 750°С	320	500	18

Сталь 15X1M1Ф

Диаграмма изотермического распада переохлажденного аустенита стали 15X1M1Ф



Оптимальными являются бейнитная и феррито-бейнитная структуры



4.2. Жаропрочные стали

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	$\sigma_{в1}$ МПа	δ , %
	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	14

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.

4.2. Жаропрочные стали

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

4.2. Жаропрочные стали

Свойства жаропрочных аустенитных сталей с карбидным упрочнением

Схемы термической обработки

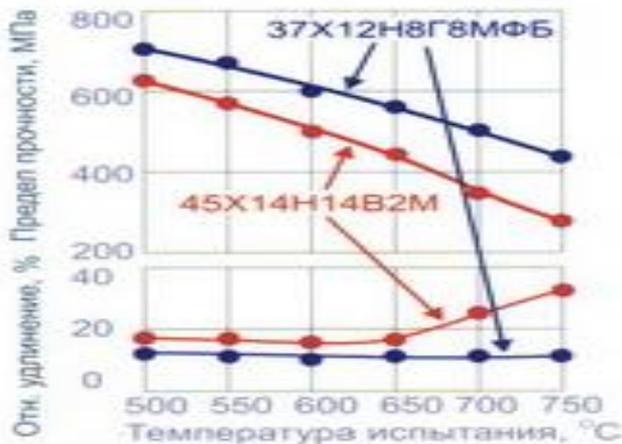
Сталь 45X14H14B2M



Сталь 37X12H8Г8МФБ



Механические свойства сталей при повышенных температурах



4.2. Жаропрочные стали

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

4.2. Жаропрочные стали

Термическая обработка и свойства жаропрочных аустенитных сталей с интерметаллидным упрочнением

Схемы термической обработки



Механические свойства сталей и сплавов при 20°C и повышенных температурах

Марка стали или сплава	Свойства при 20°C		Свойства при 700°C		
	σ_{B1} , МПа	δ , %	σ_{B1} , МПа	δ , %	σ_{1000}^{700} , МПа
10X11H20T3P (ЭИ696)	900	13	660	15	210
10X12H22T3MP (ЭП33)	1000	10	710	10	280
ХН35ВТ (ЭИ612)	720	13	460	9	140
ХН35ВТЮ (ЭИ787)	1050	8	920	5	300

КОРРОЗИОННОСТОЙКИЕ СТАЛИ

Коррозия – разрушение металла под воздействием окружающей среды. В зависимости от характера физико-химического воздействия среды различают:

1. **химическую коррозию**, обусловленную воздействием сухих газов и жидкостей, не являющихся электролитами;
2. **электролитическую коррозию**, обусловленную воздействием электролитов.

Химическая коррозия

- *Химическая коррозия* – это чаще всего окисление металлов в газовой среде, усиливающееся при повышении температуры.
- Защита от окисления металлов основана на образовании защитной окисной плёнки на поверхности. Плёнка должна быть прочной, хорошо сцепляться с поверхностью металла, а главное быть сплошной.
- Материал будет стоек к химической коррозии, если объём образующегося окисла больше объёма металла его образовавшего. Это и есть условие сплошности плёнки окисла.

Электрохимическая коррозия

Электрохимическая коррозия – наиболее распространённый вид коррозии. Разнородные металлы (или участки различных фаз в сплавах), контактируя с электролитом, образуют гальванический элемент.

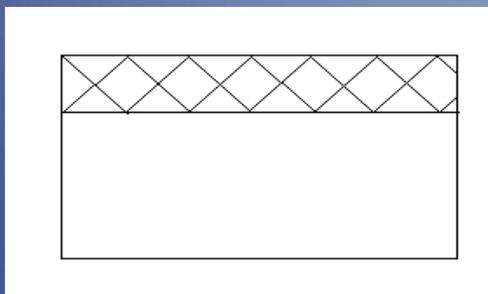
Металл, имеющий более низкий потенциал (анод) отдаёт ионы в электролит и растворяется (корродирует).

Чем ниже электродный потенциал металла по отношению к стандартному водородному потенциалу, тем ниже его коррозионная стойкость.

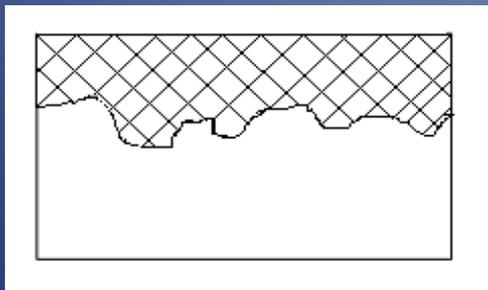
Основные разновидности электрохимической коррозии и их относительное влияние на прочность листового дуралюминия:

- а). равномерная коррозия;
- б). местная коррозия;
- в). межкристаллитная коррозия.

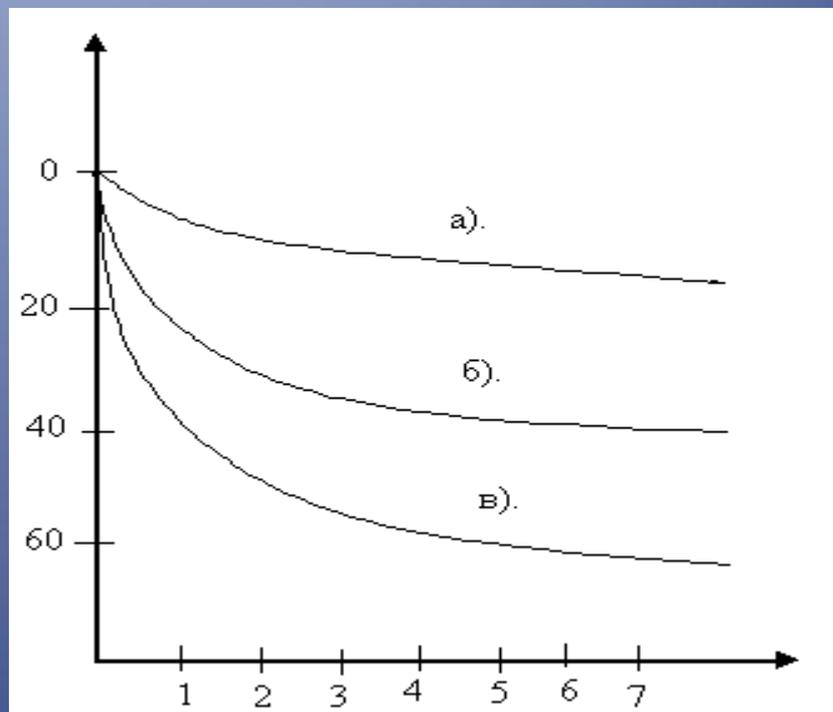
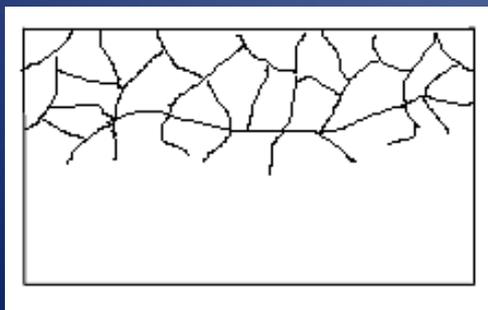
а



б



в



Потеря массы Δm (мг/см²) с единицы площади поверхности

4.2. Жаропрочные стали

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**.

4.2. Жаропрочные стали

Хромистые коррозионностойкие стали

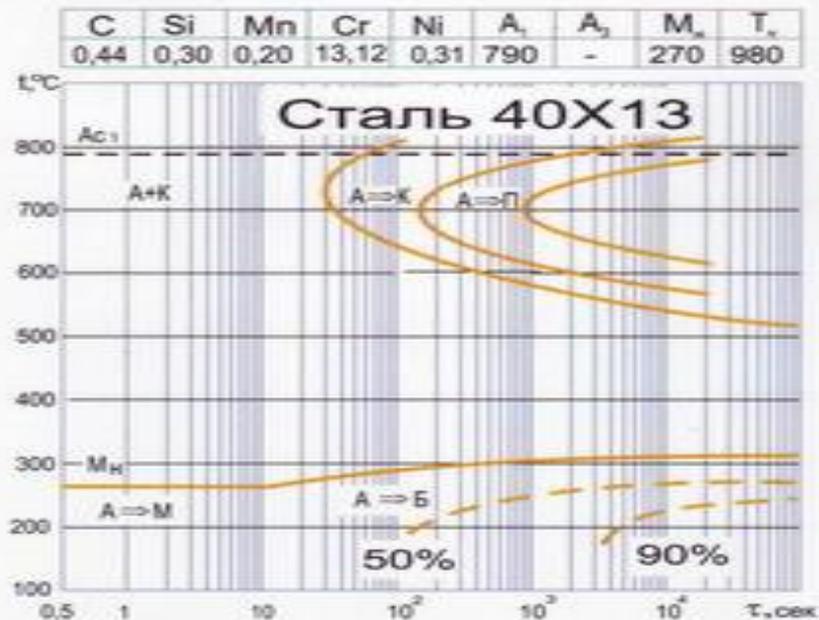
В зависимости от структуры, образующейся при охлаждении на воздухе, хромистые стали делятся на следующие классы: мартенситные, мартенситно-ферритные (содержат более 10 % феррита) и ферритные.

Марка стали	Содержание, %			Термическая обработка	$\sigma_{0,2}$ МПа	$\sigma_{в}$ 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

4.2. Жаропрочные стали

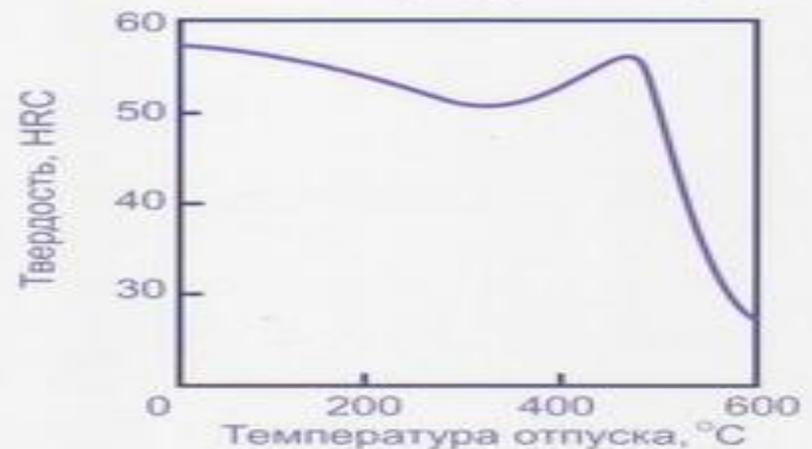
Свойства хромистых коррозионностойких сталей

Диаграмма изотермического распада переохлажденного аустенита стали 40X13



Зависимость твердости стали 40X13 от температуры отпуска продолжительностью один час.

Зависимость коррозионной стойкости стали 10X13 от температуры отпуска

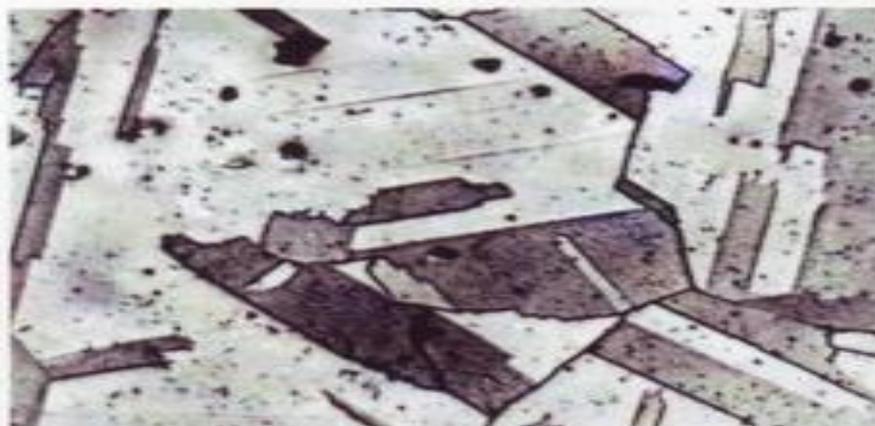


4.2. Жаропрочные стали

Хромоникелевые аустенитные коррозионностойкие стали

Марка стали	Содержание, %				Термическая обработка	$\sigma_{0,2}$ МПа	σ_B МПа	δ_s %
	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

4.2. Жаропрочные стали

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.*

4.3. Инструментальные стали

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%**.

4.3. Инструментальные стали

Стали для режущего инструмента

Стали с низкой теплостойкостью

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

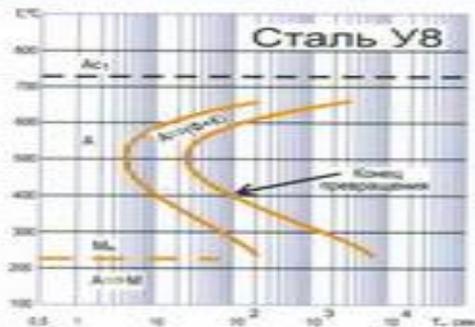
К этой группе сталей относятся:

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

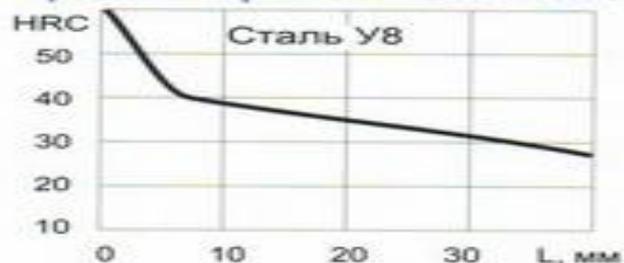
1. Углеродистые стали небольшой прокаливаемости:

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



Кривая прокаливаемости



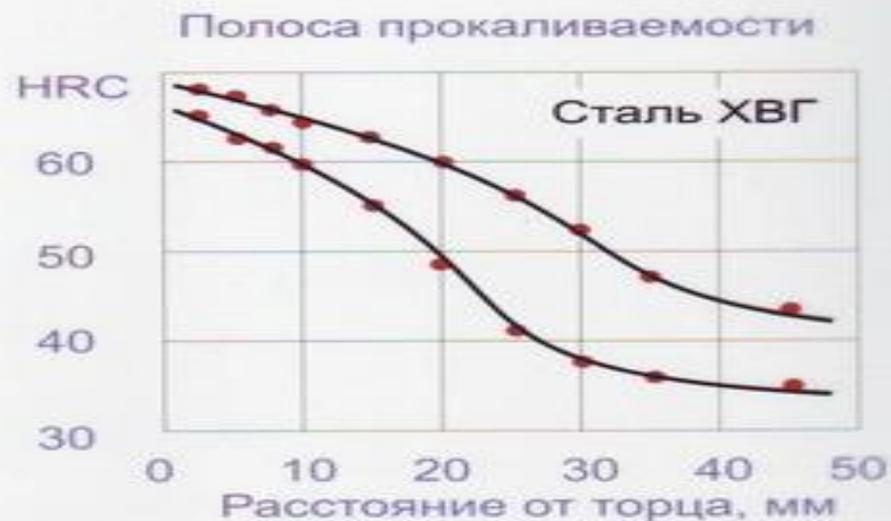
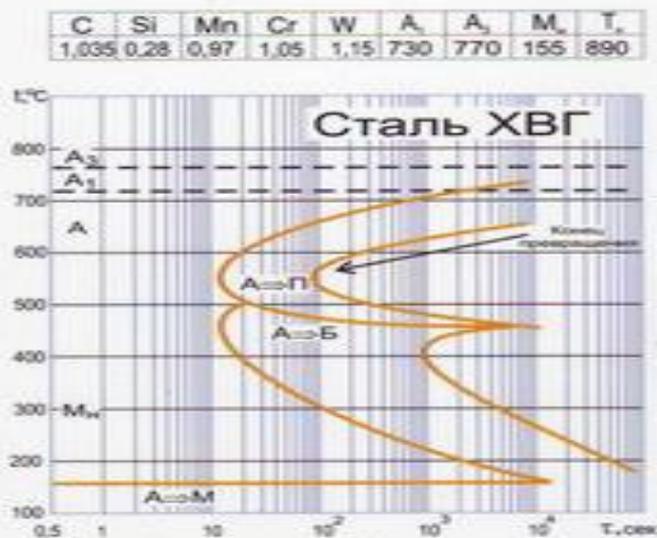
4.3. Инструментальные стали

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	$t_{\text{зак.}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{отп.}}, ^\circ\text{C}$	
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



4.3. Инструментальные стали

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

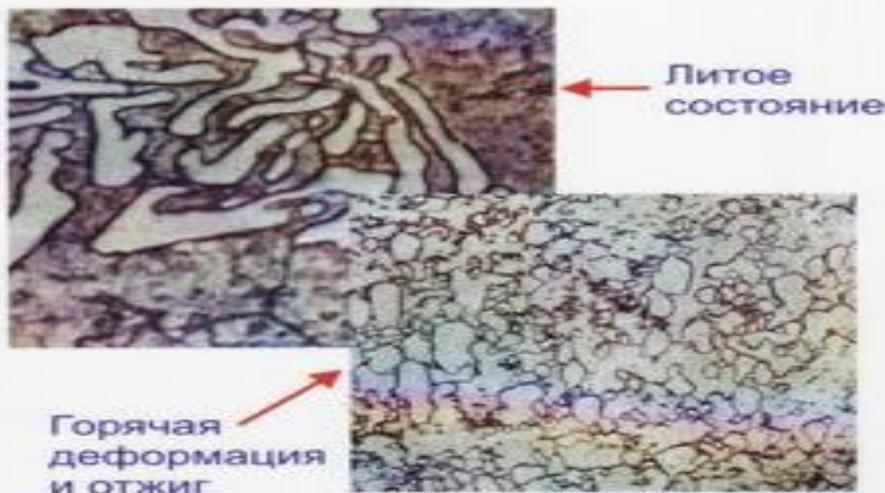
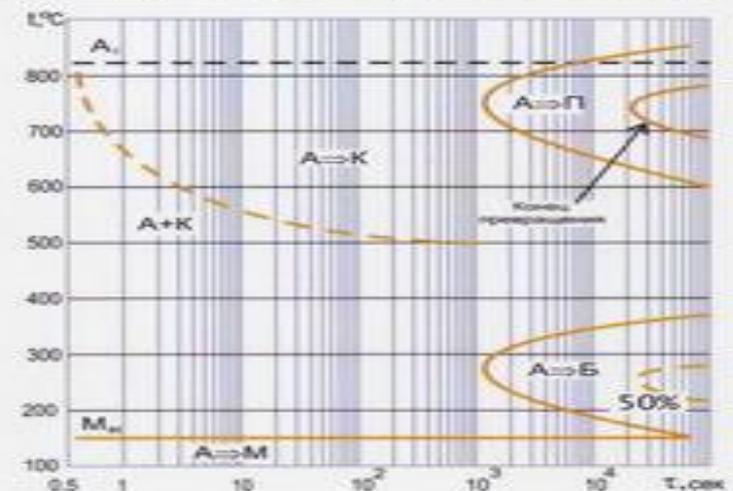


Диаграмма изотермического распада переохлажденного аустенита стали P6M5



4.3. Инструментальные стали

Стали для режущего инструмента

Термическая обработка быстрорежущих сталей

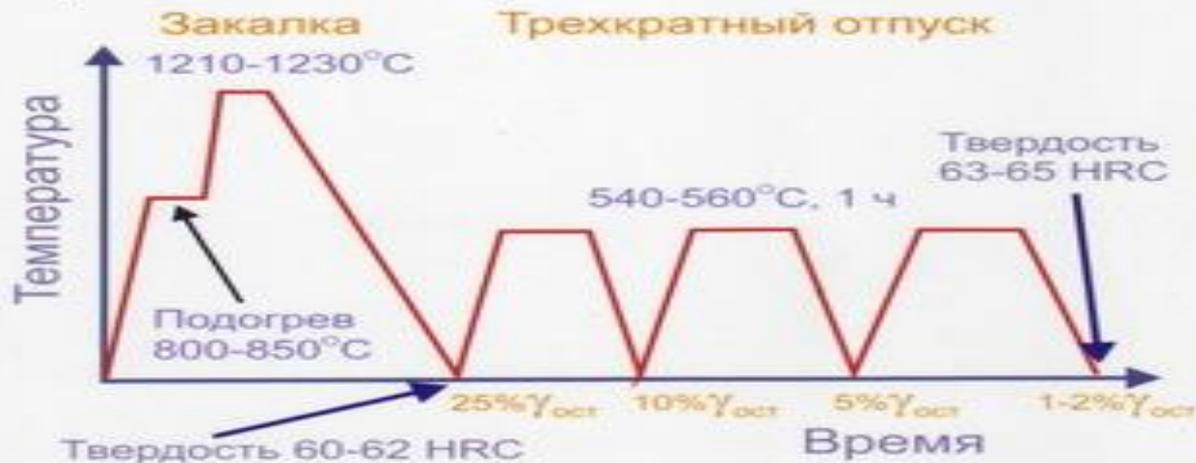
Основные легирующие элементы образуют специальные карбиды: Me_6C - на основе молибдена и вольфрама, MeC - на основе ванадия и $Me_{23}C_6$ на основе хрома.

Изменение твердости закаленной стали P6M5 при отпуске



Вторичное твердение, обусловленное выделением специальных карбидов

Термическая обработка стали P6M5



Структура после закалки



4.3. Инструментальные стали

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.

Режим термической обработки стали X



4.3. Инструментальные стали

Штамповые стали для холодного деформирования

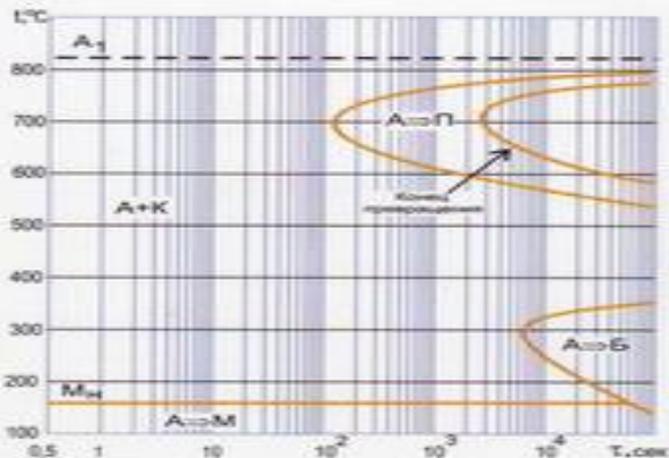
Требования к сталям: высокая твердость, прочность и износостойкость в сочетании с удовлетворительной вязкостью.

1. Стали повышенной износостойкости

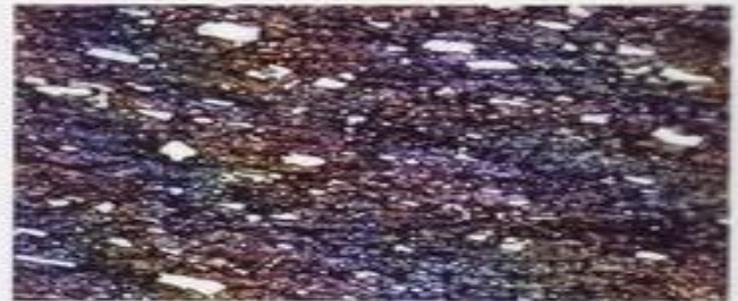
К этой группе относятся высоколегированные стали с высоким содержанием хрома (6-12%). Высокую их износостойкость в основном обеспечивает наличие в стали карбидов Me_7C_3 на основе хрома, объемная доля которых достигает 12-24%.

Марка стали	Содержание, %				Термообработка		Твердость, HRC
	C	Cr	V	другие	$t_{зак.}, ^\circ C$	$t_{отп.}, ^\circ C$	
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



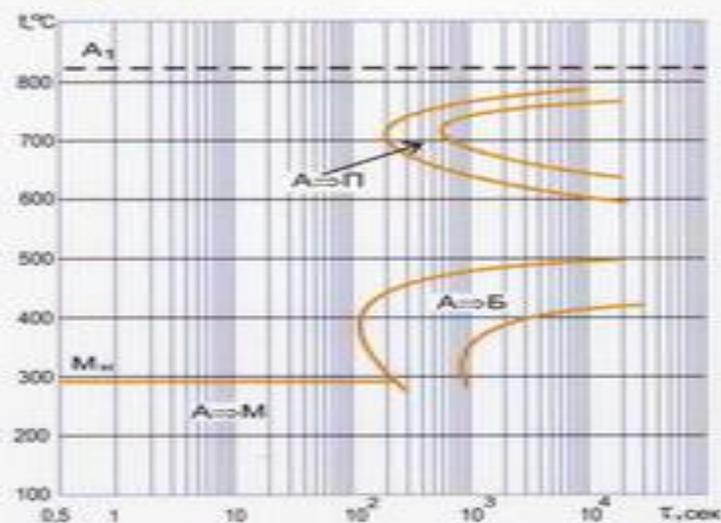
Сквозная прокаливаемость при охлаждении в масле до 100 мм для сталей X12Φ1 и X12M и до 80 мм для стали X6BΦ

4.3. Инструментальные стали

Штамповые стали для холодного деформирования 2. Стали повышенной вязкости

Марка стали	Содержание, %				Термообработка		Твердость, HRC
	C	Si	Cr	W	$t_{\text{закал}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{отп}}, ^\circ\text{C}$	
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 $^\circ\text{C}$** - охлаждение в расплаве солей до **300 $^\circ\text{C}$** , выдержка **30 мин** - охлаждение на воздухе. Такая обработка при твердости около **52 HRC** обеспечивает ударную вязкость **0,6-0,7 МДж/м 2** , тогда как после закалки на мартенсит и отпуска на такую же твердость, ударная вязкость равна **0,2-0,25 МДж/м 2** .

4.3. Инструментальные стали

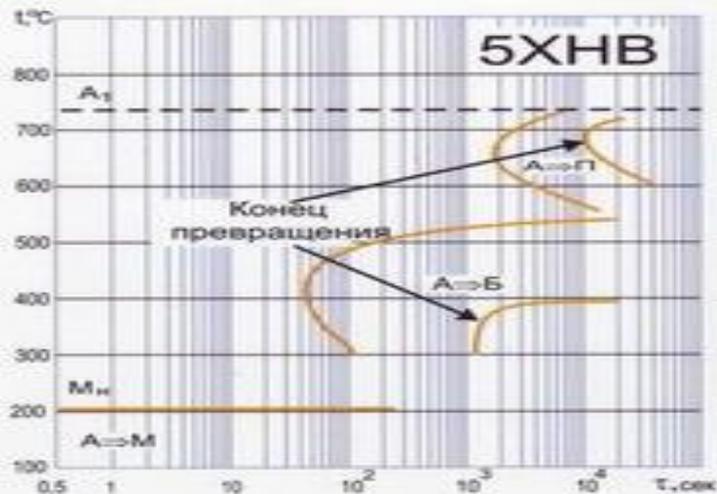
Штамповые стали для горячего деформирования

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

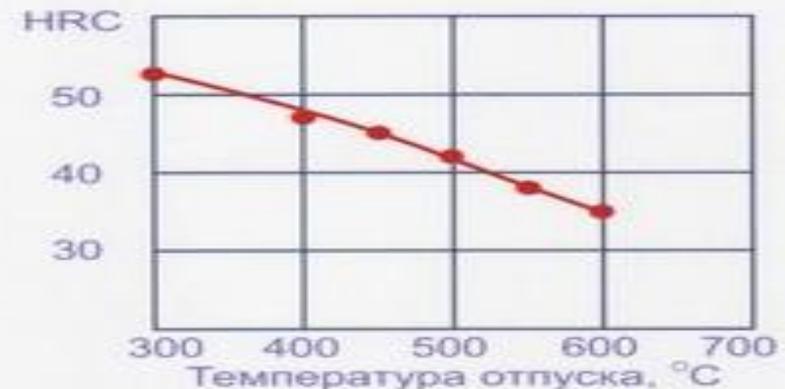
Разгаростойкость - это способность стали выдерживать многократные нагревы и охлаждения без образования трещин. Стали данной группы содержат **0,3-0,6%** углерода и подвергаются **закалке и высокому отпуску**.

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	$t_{\text{закал}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{отп}}, ^\circ\text{C}$	
5XHM	0,50-0,60	0,5-0,8	1,4-1,8	Mo 0,15-0,3	840 - 860	500 - 550	40-45
5XHB	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 5XHB при отпуске



4.3. Инструментальные стали

Штамповые стали для горячего деформирования

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

К этой группе относятся **вторичнотвердеющие** стали. Основные упрочняющие фазы, выделяющиеся при отпуске - **Me₂C** 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
4X4BMΦC	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°C

Марка стали	σ _B , МПа	δ, %	ψ, %	KCU, МДж/м ²
5XHB	500	42	85	1,2
4X5MΦC	980	15	58	0,5
4X4BMΦC	1100	15	50	0,5
3X2B8Φ	1180	11	32	0,35

4.3. Инструментальные стали

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 **$TiC-WC-Co$**).

Т30К4, Т15К6, Т5К10 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.

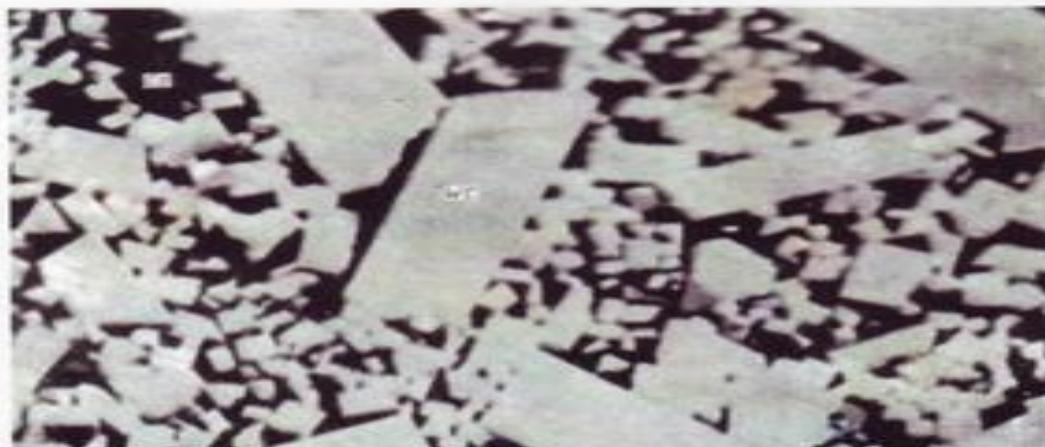
В маркировке после букв **ТТ** стоит цифра, указывающая количество карбидов титана и вольфрама в процентах.

Цифра после буквы **К** указывает содержание кобальта.

4.3. Инструментальные стали

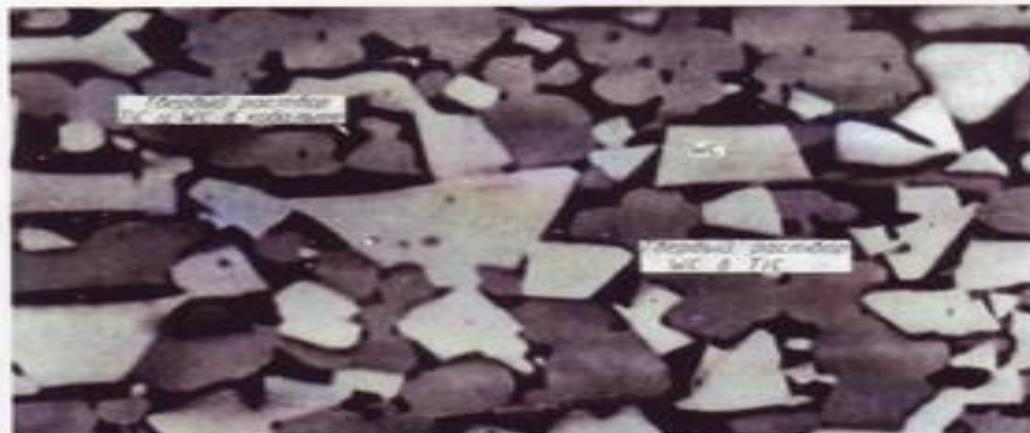
Твердые сплавы для режущего инструмента

Микроструктура вольфрамового сплава ВК15.



X3000

Микроструктура титановольфрамового сплава Т15К6



X3000

Инструментальные стали

Общим для всех инструментальных сталей является повышенное содержание углерода, обеспечивающее их прочность, твердость, износостойкость.

По назначению они делятся на стали:

- для режущего инструмента;
- штамповочного инструмента;
- измерительного инструмента.

Стали для измерительного инструмента

Стали для измерительного инструмента должны обладать высокой твердостью, износостойкостью, стабильностью формы и размеров (У8 ... У12, Х, ХГС, ХГВ, 9ХС).

Стали для режущего инструмента

Стали для режущего инструмента различают по *теплостойкости* – способности сохранять твердость при нагреве:

- низкой теплостойкости (углеродистые и инструментальные стали У7 ... У13) для инструмента, не испытывающего нагрева ($T < 2000^{\circ}\text{C}$ напильники, зубила, топоры);
- полу теплостойкими являются среднелегированные стали (9Х5ВФ, 3Х4В3М3Ф2) с теплостойкостью до 4000°C ;
- теплостойкие стали сохраняют свои режущие свойства при температурах до 6000°C (быстрорежущие стали Р18, Р9, Р6М5).

Стали для штампового инструмента

Стали для штампового инструмента делят на стали:

- для холодного деформирования (отличаются повышенным содержанием углерода Х6ВФ, Х12, Х12М, ХВГ);
- для горячего деформирования (5ХНМ, 4ХМФС, 3Х2В2Ф, 4Х2В5МФ как правило среднеуглеродистые, легированные хромом, молибденом, вольфрамом, ванадием).

Стали для измерительного инструмента

Стали для измерительного инструмента должны обладать высокой твердостью, износостойкостью, стабильностью формы и размеров (У8 ... У12, Х, ХГС, ХГВ, 9ХС).

Жаропрочные сплавы

- Это, прежде всего, сплавы на основе никеля, кобальта, тугоплавких металлов. Сюда же относятся и жаропрочные сплавы на основе других (в том числе легких) металлов.
- Сплавы на основе никеля (ГОСТ 5632—72) могут быть гомогенные (**нихромы**) и дисперсионно-упрочняемые (**нимоники**).
- В качестве жаропрочных обычно применяются нимоники; их интервал рабочих температур - 850—1050оС.
- Нимоники – сплавы на основе Ni, Cr, Ti и Al. Изобрели в Англии. В США – инконел. ХН80ТБЮ, ХН55ВМТФКЮ
- Нимоники используют в газовых турбинах двигателей самолетов, кораблей, энергетических установок, при изготовлении деталей ракетно-космической техники (диски, рабочие лопатки турбин, камеры сгорания и др.); они применяются также для изготовления штампов и матриц горячего деформирования.
- Жаропрочные сплавы на основе кобальта имеют преимущество перед никелевыми в основном по жаростойкости; они подходят для длительной работы в коррозионной среде, но вследствие дефицитности и дороговизны кобальта применяются редко.
- Жаропрочные сплавы на основе никеля и кобальта применяются и в литейном варианте.

Никель и никелевые сплавы

Никель:

- температура плавления - **1455°С**;
- плотность при 20°С - **8,9 г/см³**;
- кристаллическая решетка -
гранецентрированная кубическая.

Механические свойства никеля высокой чистоты:

$$\sigma_b = 280 \text{ МПа}, \delta = 50 \%;$$

Маркировка технически чистого никеля:

НП1 (99,9 % Ni+Co), **НП2** (99,5 % Ni+Co),
НП3 (99,3 % Ni+Co), **НП4** (99,0 % Ni+Co).

Жаростойкие никелевые сплавы

Марка сплава	Содержание, %					Применение
	C	Cr	Al	Si	Ti	
X20H80 (нихром)	<0,12	20-23	-	0,4-1,5	-	электронагреватели до 1100°С
XH70Ю	<0,12	26-29	2,8-3,5	<0,8	-	детали камер сгорания до 1200°С
XH78T	<0,12	19-22	-	<0,8	0,15-0,3	детали камер сгорания до 1000°С

Деформируемые никелевые сплавы

Маркировка сплавов:

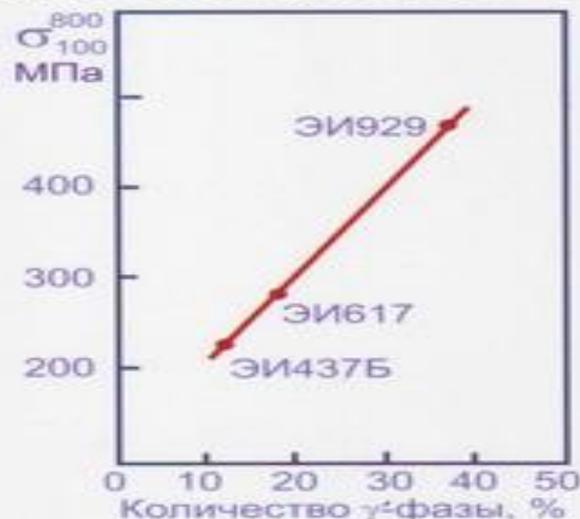
1) Марка сплава состоит из букв, обозначающих элементы, входящие в его состав. Обозначения элементов, такие же, что и у сталей. Марка сплава начинается с буквы **X** (хром), затем идет **N** и цифра, указывающая среднее содержание никеля, а далее буквы, обозначающие остальные элементы (**XN77TЮP**).

2) используются условные обозначения, не имеющие отношения к химическому составу сплавов (**ЭИ437Б**).

Влияние количества γ' -фазы на длительную прочность

Состав сплавов

Марка сплава	Содержание, %			
	Cr	Al	Ti	другие
XN77TЮP (ЭИ437Б)	19-22	0,6-1,0	2,4-2,8	B <0,01 C <0,12
XN70BMTЮ (ЭИ617)	13-16	1,7-2,3	1,8-2,3	Mo 2,0-4,0 W 5,0-7,0 V 0,1-0,5 C <0,12
XN55BMTКЮ (ЭИ929)	9-12	3,6-4,5	1,4-2,0	Mo 4,0-6,0 W 4,5-6,5 V 0,2-0,8 Co 12-16 C <0,12



Термическая обработка:

ЭИ437Б - закалка от 1080-1120°C, старение при 700-750°C, 16ч;

ЭИ617 - закалка от 1180-1200°C, закалка от 1040-1060°C и старение при 800°C, 16ч;

ЭИ929 - закалка от 1190-1210°C, закалка от 1040-1080°C и старение при 850°C, 8ч;

Жаропрочные никелевые сплавы

Термическая обработка сплавов **Ni-Cr-Ti-Al**:
закалка и старение.

Упрочнение при старении обеспечивает γ' -фаза - $Ni_3(Ti,Al)$ с решеткой ГЦК..

Схема термической обработки



Изменение твердости сплава ХН77ТЮР при старении (16ч)



Структура сплава ХН77ТЮР после старения 750°C, 16ч



x100

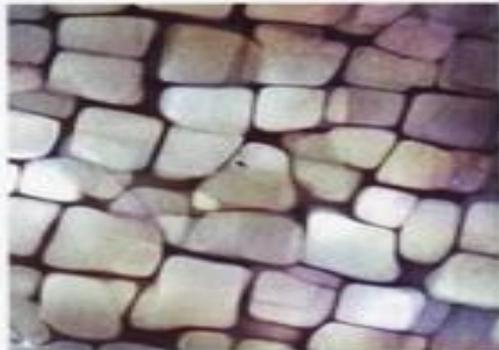


x20000

Литейные никелевые сплавы

Литейные сплавы содержат 45-60 % γ' -фазы

Структура литого сплава



x20000

Направленная кристаллизация



x75

Марка сплава	Содержание, %				Рабочие температуры, °C	Длительная прочность, σ_{100}^{800} , МПа
	Cr	Al	Ti	Другие		
ЖС6К	10,5 - 12,5	5,0 - 6,0	2,5 - 3,0	Mo 3,5-4,5 W 4,5-5,5 Co 4,0-5,0 B < 0,02 C=0,13-0,2	850-1050	520

Термическая обработка сплава ЖС6К:
закалка от 1210-1230°C и старение 950°C, 2ч

4.4. Износостойкие стали

СТАЛИ И СПЛАВЫ С ВЫСОКОЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬЮ

Это, прежде всего, стойкие к абразивному изнашиванию, сопровождающемуся ударами:

- **наплавочные карбидные сплавы** — сормаиты, стеллиты, карбидостали, и др. (для деталей, работающих в наиболее тяжелых условиях);
- **порошковые твердые сплавы, а также высокоуглеродистые сплавы с карбидо-мартенситной структурой** (для деталей, работающих в средних условиях);
- **низко- и среднеуглеродистые стали с различными видами поверхностного упрочнения и чугуны** (для деталей с более легкими условиями работы — гильзы цилиндров, коленчатые валы, поршневые кольца и др.).

Сюда относятся также стали, устойчивые к усталостному изнашиванию:

- шарикоподшипниковые стали (ГОСТ 801—78) — для изготовления шариков, роликов и колец;
- низко- и среднеуглеродистые стали с поверхностным упрочнением,

в случае абразивного изнашивания, — для различных по размеру и назначению зубчатых колес - низко- и среднеуглеродистые стали с поверхностным упрочнением,

Износостойкость сталей может быть существенно повышена нанесением специальных покрытий.

К этой же группе относится сталь Гадфильда, хорошо работающая при трении с высокими давлениями и ударными нагрузками (траки гусеничных машин, крестовины железнодорожных рельсов, черпаки экскаваторов, детали камнедробилок и др.).

В качестве износостойких, особенно при микроударном нагружении (кавитация), используются медные сплавы — $\alpha + \beta$ -фазные легированные бронзы (см. группу 124); а также алюминиевые сплавы (тип АО) с добавками меди и цинковые сплавы (тип ЦАМ); с этой же целью могут использоваться и титановые сплавы с повышенным содержанием β -фазы (см. группу 123).

4.4. Износостойкие стали

- Для изготовления деталей машин, работающих в условиях трения, применяют специальные износостойкие стали — шарикоподшипниковые, графитизированные и высокомарганцовистые.
- **Шарикоподшипниковые стали** (ШХ6, ШХ9, ШХ15) применяют для изготовления шариков и роликов подшипников. По химическому составу (ГОСТ 801—60) и структуре эти стали относятся к классу инструментальных сталей. Они содержат около 1% С и 0,6—1,5% Cr. Для деталей размером до 10 мм применяют сталь ШХ6 (1,05 — 1,15% С и 0,4 — 0,7% Cr), а для деталей размером более 18 мм — сталь ШХ15 (0,95 — 1,05% С и 1,3 — 1,65% Cr). Термическая обработка шарикоподшипниковых сталей с небольшим содержанием хрома заключается в закалке и низком отпуске (до 200°С), в результате чего обеспечивается твердость HRC 60-66.
- **Графитизированную сталь** (высокоуглеродистую, содержащую 1,5 — 2% С и до 2% Cr) используют для изготовления поршневых колец, поршней, коленчатых валов и других фасонных отливок, работающих в условиях трения. Графитизированная сталь содержит в структуре ферритоцементитную смесь и графит. Количество графита может значительно меняться в зависимости от режима термической обработки и содержания углерода. Графитизированная сталь после закалки сочетает свойства закаленной стали и серого чугуна. Графит в такой стали играет роль смазки.
- **Высокомарганцовистую сталь** Г13Л, содержащую 1,2% С и 13% Mn, применяют для изготовления железнодорожных крестовин, звеньев гусениц и т. п. Эта сталь обладает максимальной износостойкостью, когда имеет однофазную структуру аустенита, что обеспечивается закалкой (1000—1100°С) при охлаждении на воздухе. Закаленная сталь имеет низкую твердость (HВ 200), после сильного наклепа ее твердость повышается до HВ 600.
- **Сталь 110Г13Л** предназначена для работы в условиях больших давлений и ударных нагрузок. Это сталь аустенитного класса, имеющая после закалки аустенитную структуру с невысокой твердостью и износостойкостью и способная сильно упрочняться в условиях ударных воздействий, что связано с деформационным упрочнением аустенита и образованием ε-мартенсита.
- Наиболее характерными представителями являются стали типа X12, которые содержат 1,4 — 2,5% С и 11,0 — 13,0% Cr и дополнительно легированы в небольших количествах молибденом, ванадием и вольфрамом (в разных сочетаниях). (X12M, X12BM)Эту группу сталей производят для холодного деформирования.
- **При большинстве видов изнашивания основным требованием к материалу является высокая ...** поверхностная твердость
- **Для работы в условиях абразивного трения используют износостойкие стали.** Предел контактной выносливости характеризует сопротивление материала усталостному изнашиванию.

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°C в масле + низкий отпуск при 150 - 170°C.

Твердость после окончательной термической обработки - 60-65 HRC.

