



# Курс : Материаловедение

## Тема: Промышленные стали

**Казачков Олег Владимирович**, доцент, к.т.н.

Институт лесных, инженерных и строительных наук,  
кафедра технологических и транспортных машин и оборудования  
**kaz @ psu.karelia.ru**

# План лекции

- Основы легирования
- Улучшаемые и цементуемые стали
- Автоматные стали
- Рессорно-пружинные стали
- Подшипниковые стали
- Коррозионностойкие стали
- Теплоустойчивые, жаропрочные, жаростойкие стали
- Высокопрочные стали

# Взаимодействие лег.элементов с углеродом

Первая группа

Некарбидообразующие элементы:

Al, Si, Ni, Co, Cu

Вторая группа

Карбидообразующие элементы:

Fe, Mn, Cr, Mo, W, V, Nb, Zr, Ti

карбидообразующая способность →

Элементы Mn, Cr, Mo, W, растворяясь в цементите, образуют легированный карбид  $(Fe, M)_3C$  или  $M_3C$ .

**Специальные карбиды**

карбиды хрома  $Cr_{23}C_6$ ,  $Cr_7C_3$  или  $M_{23}C_6$ ,  $M_7C_3$

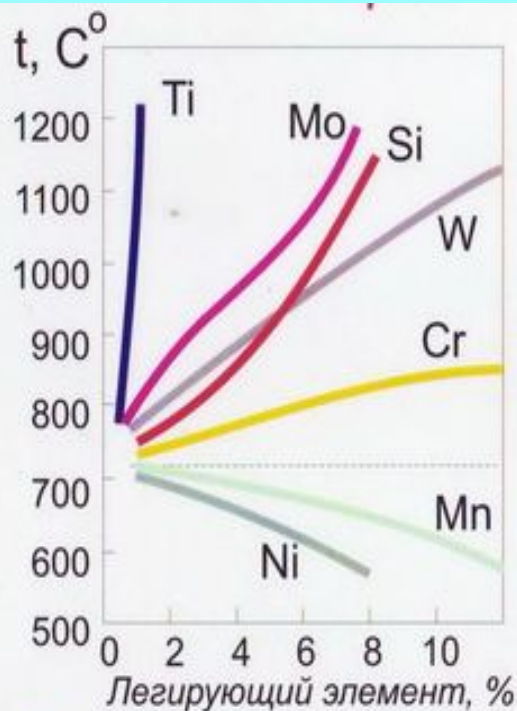
карбиды молибдена и

вольфрама  $MoC$ ,  $WC$ ,  $Mo_2C$ ,  $W_2C$  или  $MC$ ,  $M_2C$

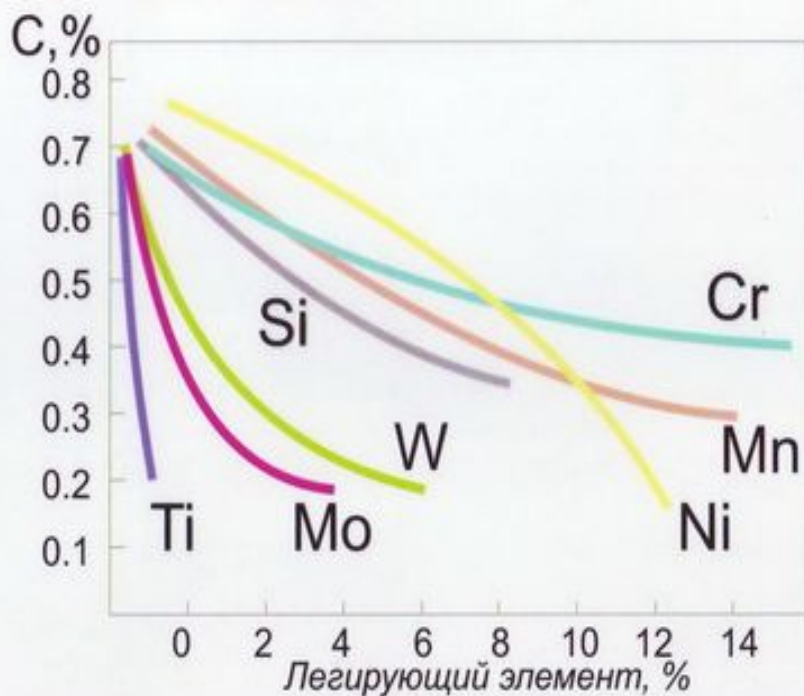
карбиды ванадия,

ниобия и титана  $VC$ ,  $NbC$ ,  $TiC$  или  $MC$

# Влияние лег.элементов на критические точки стали



Влияние легирующих элементов на температуру  $A_1$

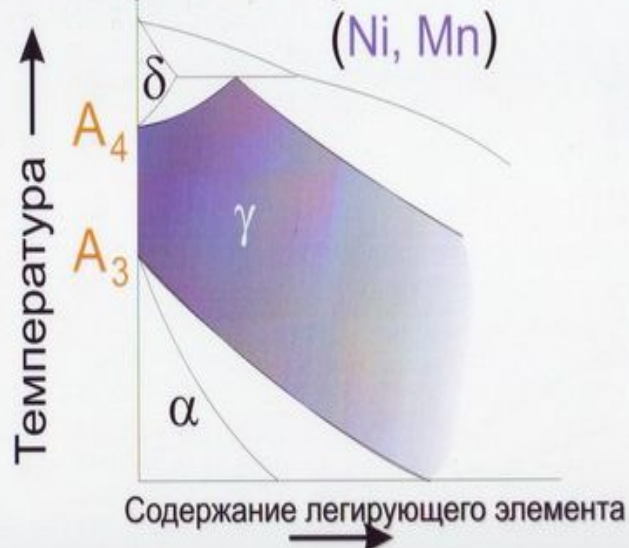


Влияние легирующих элементов на содержание  $C$  в эвтектоиде

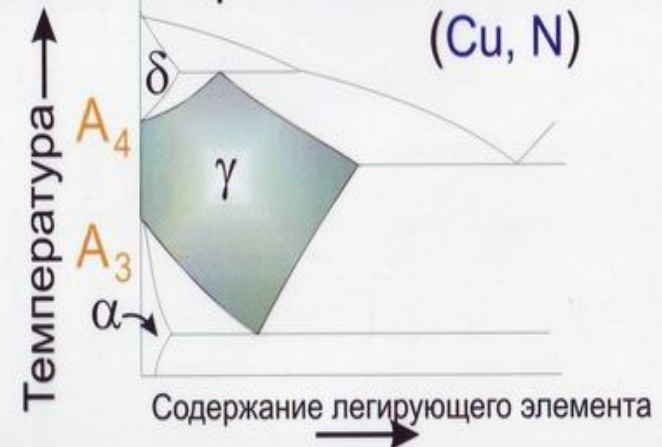
# Взаимодействие лег.элементов с железом

*Первая группа* Легирующие элементы, расширяющие  $\gamma$  - область (понижают точку  $A_3$  и повышают точку  $A_4$  железа)

а) Элементы, неограниченно растворимые в  $\gamma$  - железе



б) Элементы, образующие с железом сплавы, в которых гомогенная область ограничивается гетерогенной областью



# Взаимодействие лег.элементов с железом

*Вторая группа* Легирующие элементы, сужающие  $\gamma$  - область (повышают точку  $A_3$  и понижают точку  $A_4$  железа)

а) Элементы, полностью замыкающие  $\gamma$  - область и образующие гомогенную  $\alpha$  - область (Al, Cr, Si, Mo, W, V)



б) Элементы, образующие с железом сплавы, в которых  $\gamma$  - область ограничивается гетерогенной областью (Nb, Zr)



# Улучшаемые стали

- Относятся стали среднеуглеродистые (0,3...0,5% С) низко- и среднелегированные
- Свойства стали определяет высокая конструктивная прочность (надежность и долговечность)
- Термическая обработка: полная закалка + высокий отпуск (улучшение)
- Рабочая структура : сорбит отпуска

Свойства сталей после закалки и отпуска при 600°C

марка стали	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	KCU, МДж/м <sup>2</sup>
40ХН	760	910	20	60	0,8
30ХН3А	830	930	21	64	1,4

# Цементуемые стали

- Относятся стали низкоуглеродистые (до 0,25% С) низко- и среднелегированные
- Свойства стали определяет твердый поверхностный слой и вязкая сердцевина после т.о.
- Термическая обработка: цементация (нитроцементация) + закалка + низкий отпуск

Свойства сталей 15X, 12XН3А и 18X2Н4МА после термической обработки

марка стали	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_n$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	KCU, МДж/м <sup>2</sup>
15X	500	700	12	45	0,7
12XН3А	700	950	11	55	0,9
18X2Н4МА	850	1150	12	50	1,0

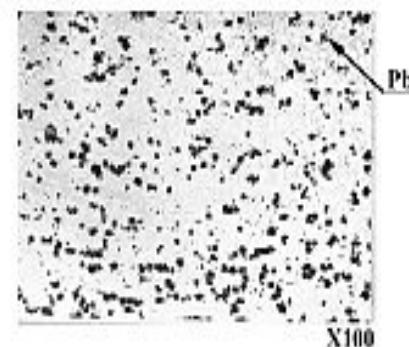


# Автоматные стали

- Данные стали отличаются **хорошей обрабатываемостью резанием** и предназначены для изготовления деталей на станках – автоматах
- Имеют повышенное содержание S, P или легированы Pb, Ca, Se
- Маркировка: буква А, цифра С% в сотых долях
- Буквы С и Ц после А указывают на свинец и кальций

марка стали	содержание С, %					Свойства без термообработки	
	С	Mn	S	P	Pb	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %
А12	0,08-0,12	0,7-1,0	0,08-0,20	0,08-0,15	–	420	22
А20	0,17-0,24	0,7-1,0	0,08-0,15	<0,06	–	460	20
А40Г	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, содержащей свинец



# Рессорно – пружинные стали

- Обладают **высоким пределом упругости**, пределом усталости при достаточной пластичности
- Содержат 0,5...0,7 %С и легированы кремнием, хромом, ванадием, марганцем
- Термическая обр. – полная закалка + средний отпуск
- Рабочая структура после т.о. - троостит отпуска

	C%	Si%	Mn%	Cr%	V%
50C2	0,47- 0,55	1,50 - 2,00	0,6 - 0,9	-	-
60C2	0,57- 0,65	1,50 - 2,00	0,6 - 0,9	-	-
60C2XA	0,56 - 0,64	1,40 - 1,80	0,4 - 0,7	0,70 - 1,00	-
60C2XФА	0,56 - 0,64	1,40 - 1,80	0,4 - 0,7	0,90 - 1,20	V 0,1-0,2

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
60C2	Закалка от 870°С, масло + отпуск (460°С)	1200	1300	6	30

# Подшипниковые стали

- Обладают высокой твердостью (HRC 60...65), износостойкостью и контактной выносливостью
- Содержат  $\approx 1\%$  C и легированы хромом
- Маркировка: буквы ШХ и цифра среднее содержание Cr в десятых долях %
- Термическая обработка – неполная закалка  $840...860\text{ }^{\circ}\text{C}$ , масло + низкий отпуск  $150...170\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Рабочая структура: Мартенсит отпуска + Карбиды  $(\text{Fe,Cr})_3\text{C}$

Состав сталей

марки стали	содержание C, %			
	C	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

\*

# Коррозионностойкие стали

- Обладают высоким сопротивлением электрохимической коррозии

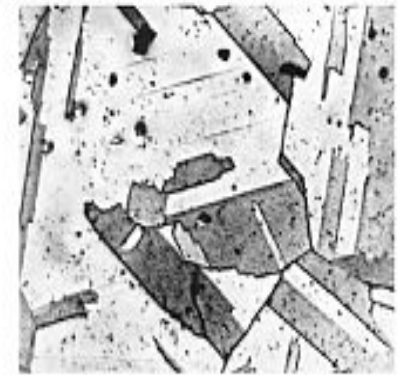
Бывают хромистые 10X13, 20X13, 30X13, 40X13, 12X17, 15X25Т и хромоникелевые 08X18Н9Т, 12X18Н9Т, 12X21Н5Т, 04X18Н10

- Основной легирующий элемент – **хром** более 12%

марка стали	содержание С, %			термическая обработка	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_{в}$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %
	С	Cr	Тi					
12X17	менее 0,12	16-18	-	Отжиг 760-780°C	240	390	20	50
15X25Т	менее 0,15	24-27	0,15-0,40	Отжиг 740-760°C	290	440	20	45

марка стали	содержание, %				термическая обработка	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_{в}$ , МПа	$\delta$ , %
	С	Cr	Ni	другие				
12X18Н9	менее 0,12	17 - 19	8,0 - 9,5	-	Закалка от 1050 - 1100°C	190	520	45
04X18Н10	менее 0,04	17 - 19	9 - 11	-	Закалка от 1000- 1050°C	170	500	50

Структура стали 12X18Н10Т после закалки



x1000

Структура - аустенит



# Теплоустойчивые стали

- Стали эксплуатируются в нагруженном состоянии при температуре  $< 600$  °С в течении длительного времени
- Углеродистые стали (котельные)  
12К, 15К, 20К, 22К применяют при до 450 °С
- Низколегированные стали  
12ХМ, 12Х1МФ, 15Х1МФ, 25Х2М1Ф  
применяют до 580 °С
- Хромистые стали (Cr 5...13%)  
15Х5, 15Х11МФ, 14Х12В2МФ, 40Х9С2 (сильхромы)  
применяют до 620 °С

# Жаропрочные стали

- Стали способные длительное время сопротивляться деформированию и разрушению при работе при высокой температуре ( $>600$  °С)
- Характеризуются: 1. условным пределом ползучести – напряжением, которое вызывает за установленное время при данной температуре заданное удлинение
- 2. пределом длительной прочности – напряжением, которое вызывает разрушение образца через заданный промежуток времени при постоянной температуре

# Жаропрочные стали

- Основной путь повышения жаропрочности – создание в материалах **крупнозернистой структуры** с однородным распределением мелких упрочняющих фаз внутри зерен

## Классификация жаропрочных сталей

- **Стали аустенитного класса** применяют до 800 °С

### С интерметаллидным упрочнением

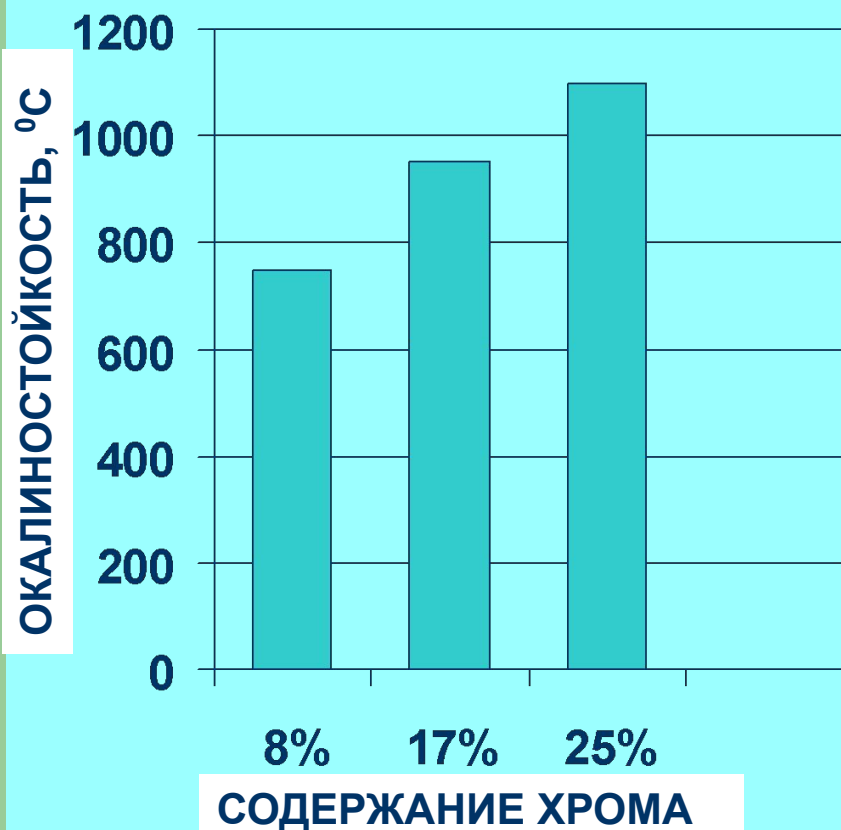
10X11H20T3P, 10X11H23T3MP (т.о.з.1080...1120<sup>0</sup>С+с.700...750<sup>0</sup>С)

### С карбидным упрочнением

45X14H14B2M, 40X15H7Г7Ф2МС (т.о.  
з.1050...1200<sup>0</sup>С+с.600...850<sup>0</sup>С)

- **Сплавы на основе никеля (нимоники)** применяют до 850 С, например, ХН77ТЮР, ХН65ВМТЮ спл. на основе никеля с лег. элементами хрома до20%, титана до2,8%, алюминия-0,55...5,5%

# Жаростойкие (окалиностойкие) стали



- Стали , устойчивые к газовой коррозии
  - Окалиностойкость достигается введением в сталь **Cr**, Al, Si
- Марки сталей: 15X5, 15X6СЮ (600...650 °С), 40X9C2 (700...850 °С), 12X17 (900 °С), 15X25 (1050 °С), ХН45Ю (1400 °С)-  
Аустенитный спл. Fe-Ni-Cr-Al





# Высокопрочные стали

стали с пределом прочности  $> 1500$  МПа с определенным запасом вязкости разрушения  $K_{IC} > 0,2$  МДж/м<sup>2</sup>,  $K_{1c} = 45, 75, 150$  МПа\*м<sup>1/2</sup>

## 1. Среднеуглеродистые, комплексно – легированные низкоотпущенные стали

30ХГСН2А (хромансиль), 40ХГСН3ВА, 40ХН2СМА

Т.о. Закалка + низкий отпуск (180...200 °С)

## 2. Мартенситостареющие стали

03Н18К3М4Т, 03Н16К11М3Т2

Т.о. закалка 800..860 °С, воздух+старение 450...500 °С

## 3. Метастабильные аустенитные стали (TRIP стали)

25Н25М4Г, 30Х9Н8М4Г2С2

Т.о. закалка 1000..1100°С+деформирование  $\epsilon=80\%$  при 450...600°С



# Строительные стали; определение

- **Строительные стали** – это конструкционные стали, применяемые для изготовления металлоконструкций и сооружений, а также железобетонной арматуры.
- Содержат не более 0,22 – 0,28% углерода и небольшое количество недефицитных легирующих элементов.

# Примеры и маркировка по прочности

C235, C245, C255, C275, C285, C345-1, C345-2, C375-2, C345K, C390, C440, C390K, C390T, C550, C590K.

## Буквенные обозначения:

- С – сталь строительная
- К – вариант химического состава
- Т – термическое упрочнение

## Цифровое обозначение.

Гарантированный предел текучести в МПа.

Цифры 1, 2 указывают гарантии по ударной вязкости при -40 и -70 °С.

# Классификация по хим. составу

## Строительные стали

Углеродистые

низколегированные

- Маркировка:
- Углеродистые стали Ст2сп, Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, Ст3Гпс, Ст3Гсп, Ст4кп, Ст4пс, Ст4сп,
- Низколегированные стали – 12Г2С, 09Г2С, 15ХСНД, 10ХСНД, 14Г2АФ, 15Г2АФДпс, 12ГН2МФАЮ, 12ГН2МФБАЮ