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

copyright КазачковО.В., ПетрГУ

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

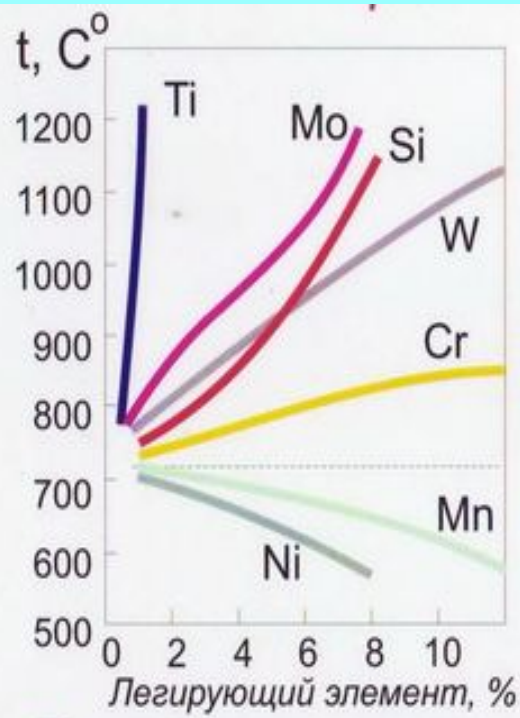
карбиды хрома $Cr_{23}C_6$, Cr_7C_3 или $M_{23}C_6$, M_7C_3

карбиды молибдена и вольфрама MoC, WC, Mo_2C, W_2C или MC, M_2C

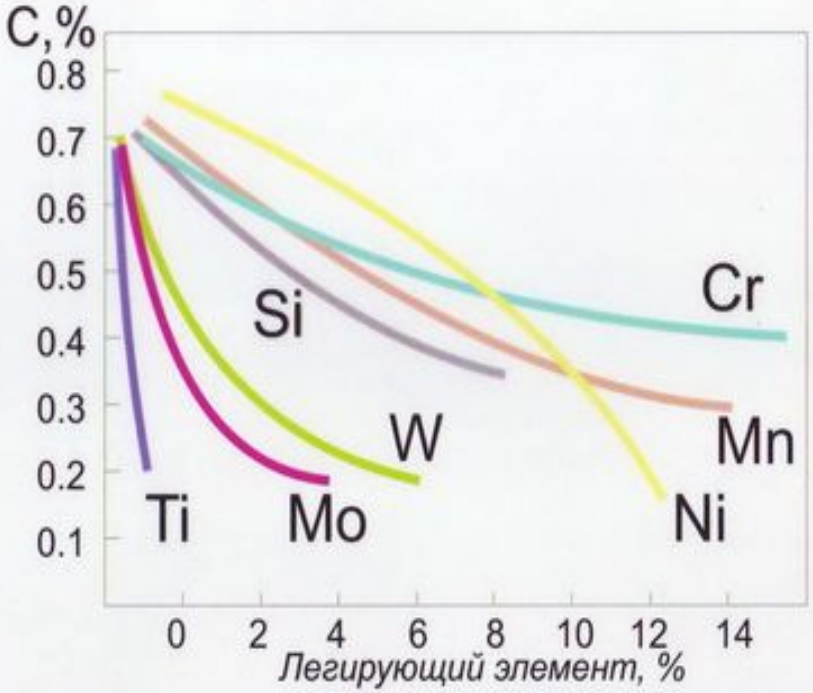
карбиды ванадия, ниобия и титана VC, NbC, TiC или MC

copyright КазачковО.В., ПетрГУ

Влияние лег.элементов на критические точки стали



Влияние легирующих элементов на температуру A_1



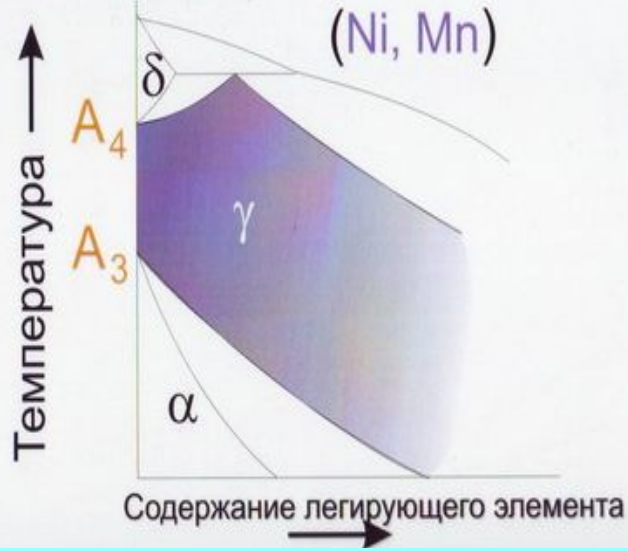
Влияние легирующих элементов на содержание C в эвтектоиде

copyright КазачковО.В., ПетрГУ

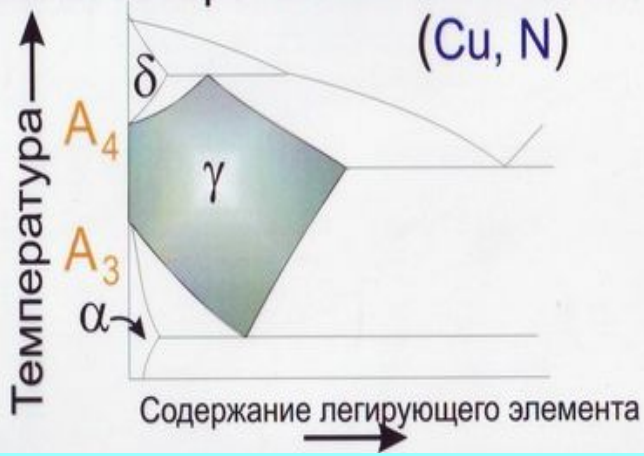
Взаимодействие лег.элементов с железом

Первая группа Легирующие элементы, расширяющие γ - область (понижают точку A_3 и повышают точку A_4 железа)

а) Элементы, неограниченно растворимые в γ - железе (Ni, Mn)



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



copyright КазачковО.В., ПетрГУ

Взаимодействие лег.элементов с железом

Вторая группа Легирующие элементы, сужающие γ - область (повышают точку A_3 и понижают точку A_4 железа)

а) Элементы, полностью замыкающие γ - область и образующие гомогенную α - область (Al,Cr, Si, Mo, W, V)

б) Элементы, образующие с железом сплавы, в которых γ – область ограничивается гетерогенной областью (Nb, Zr)

copyright КазачковО.В., ПетрГУ

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°С

марка стали	σ_{02}, МПа	$\sigma_в$, МПа	δ,%	ψ,%	KCU, МДж/м^2
40ХН	760	910	20	60	0,8
30ХН3А	830	930	21	64	1,4

copyright КазачковО.В., ПетрГУ

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 15Х, 12ХН3А и 18Х2Н4МА после термической обработки

марка стали	σ_{02}, МПа	$\sigma_в$, МПа	δ,%	ψ,%	KCU, МДж/м^2
15Х	500	700	12	45	0,7
12ХН3А	700	950	11	55	0,9
18Х2Н4МА	850	1150	12	50	1,0

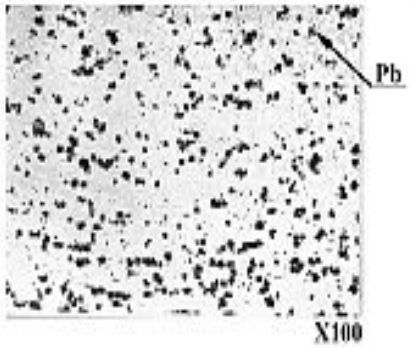
copyright КазачковО.В., ПетрГУ

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	
	C	Mn	S	P	Pb	$\sigma_в$, МПа	δ,%
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



copyright КазачковО.В., ПетрГУ

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%
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

Свойства пружинных сталей

марка стали	термическая обработка	$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_в$, 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

copyright КазачковО.В., ПетрГУ

Подшипниковые стали

- Обладают высокой твердостью (HRC 60…65), износостойкостью и контактной выносливостью
- Содержат ≈1% С и легированы хромом
- Маркировка: буквы ШХ и цифра среднее содержание Cr в десятых долях %
- Термическая обработка – неполная закалка 840…860 ^{0}С, масло + низкий отпуск 150…170 ^{0}С
- Рабочая структура: Мартенсит отпуска + Карбиды $(Fe,Cr)_3C$

Состав сталей

марки стали	содержание С , %			
	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

copyright КазачковО.В., ПетрГУ

Коррозионностойкие стали

- Обладают высоким сопротивлением электрохимической коррозии

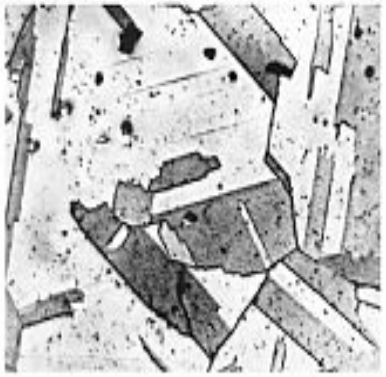
Бывают хромистые 10Х13, 20Х13, 30Х13, 40Х13, 12Х17, 15Х25Т и хромоникелевые 08Х18Н9Т, 12Х18Н9Т, 12Х21Н5Т, 04Х18Н10

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

марка стали	содержание С, %			термическая обработка	σ_{02}, МПа	$\sigma_в$, МПа	δ,%	ψ,%
	C	Cr	Ti					
12Х17	менее 0,12	16-18	-	Отжиг 760-780°С	240	390	20	50
15Х25Т	менее 0,15	24-27	0,15-0,40	Отжиг 740-760°С	290	440	20	45

марка стали	содержание, %				термическая обработка	σ_{02}, МПа	$\sigma_в$, МПа	δ,%
	C	Cr	Ni	другие				
12Х18Н9	менее 0,12	17 - 19	8,0 - 9,5	–	Закалка от 1050 - 1100°С	190	520	45
04Х18Н10	менее 0,04	17 - 19	9 - 11	–	Закалка от 1000- 1050°С	170	500	50

Структура стали 12Х18Н10Т после закалки



x1000

Структура - аустенит

copyright КазачковО.В., ПетрГУ

Теплоустойчивые стали

- Стали эксплуатируются в нагруженном состоянии при температуре < 600 ^{0}С в течении длительного времени
- Углеродистые стали (котельные)

12К, 15К, 20К, 22К применяют при до 450 ^{0}С

- Низколегированные стали

12ХМ, 12Х1МФ, 15Х1МФ, 25Х2М1Ф
применяют до 580 ^{0}С

- Хромистые стали (Cr 5…13%)

15Х5, 15Х11МФ, 14Х12В2МФ, 40Х9С2 (сильхромы)
применяют до 620 ^{0}С

copyright КазачковО.В., ПетрГУ

Жаропрочные стали

- Стали способные длительное время сопротивляться деформированию и разрушению при работе при высокой температуре (>600 ^{0}C)
- 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

copyright КазачковО.В., ПетрГУ

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 ^{0}С**

С интерметаллидным упрочнением

10Х11Н20Т3Р, 10Х11Н23Т3МР (**т.о**.з.1080…1120^{0}С+с.700…750^{0}С)

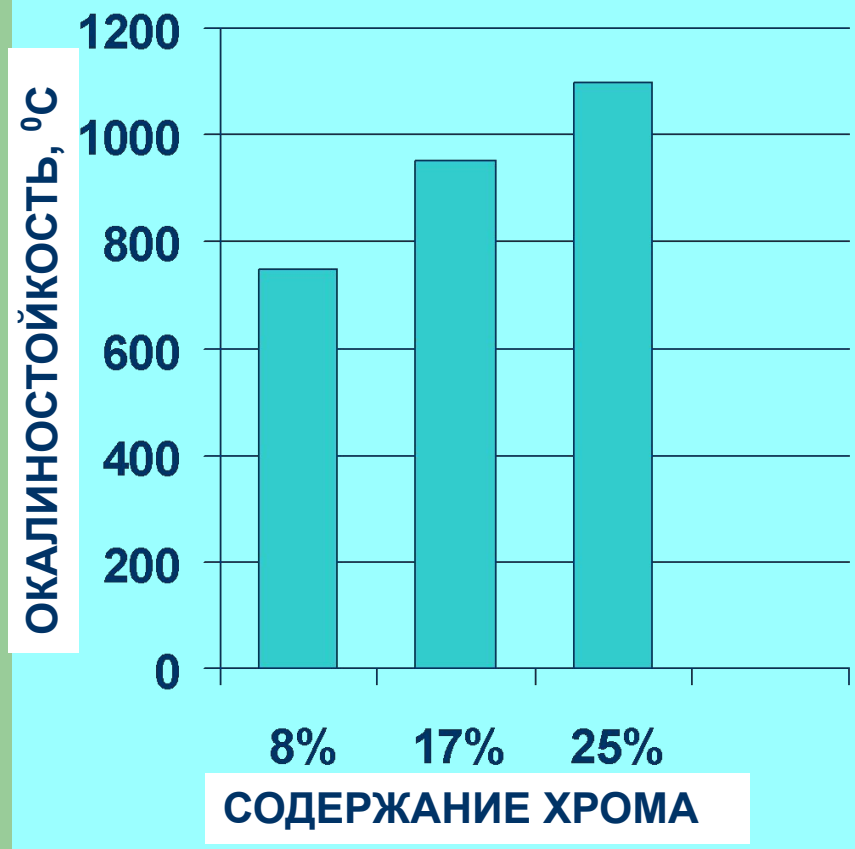
С карбидным упрочнением

45Х14Н14В2М, 40Х15Н7Г7Ф2МС (**т.о**. з.1050…1200^{0}С+с.600…850^{0}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%

copyright КазачковО.В., ПетрГУ

Жаростойкие (окалиностойкие) стали



- Стали , устойчивые к газовой коррозии
- Окалиностойкость достигается введением в сталь Cr, Al, Si

Марки сталей: 15Х5, 15Х6СЮ (600…650 °С), 40Х9С2 (700…850 °С), 12Х17 (900 °С),

15Х25 (1050 °С),

ХН45Ю (1400 °С)-

Аустенитный спл.Fe-Ni-Cr-Al

copyright КазачковО.В., ПетрГУ

Высокопрочные стали

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

1. Среднеуглеродистые, комплексно – легированные низкоотпущенные стали

30ХГСН2А (хромансиль), 40ХГСН3ВА, 40ХН2СМА

Т.о. **Закалка** + **низкий отпуск** (180…200 ^{0}С)

2. Мартенситостареющие стали

03Н18К3М4Т, 03Н16К11М3Т2

Т.о. **закалка** 800..860 ^{0}С, воздух+**старение** 450…500 ^{0}С

3. Метастабильные аустенитные стали(TRiPстали)

25Н25М4Г, 30Х9Н8М4Г2С2

Т.о. **закалка** 1000..1100^{0}С+деформирование ε=80%при 450…600^{0}С

copyright КазачковО.В., ПетрГУ

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.**

copyright Казачков О.В., ПетрГУ

Примеры и маркировка по прочности

С235, С245, С255, С275, С285, С345-1, С345-2, С375-2, С345К, С390, С440, С390К, С390Т, С550, С590К.

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 ^{0}С.

copyright Казачков О.В., ПетрГУ

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**

copyright Казачков О.В., ПетрГУ