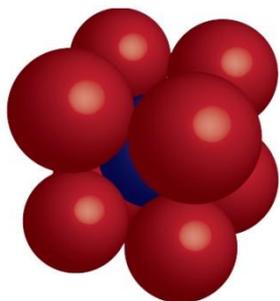


ЛЕГИРОВАННЫЕ СТАЛИ



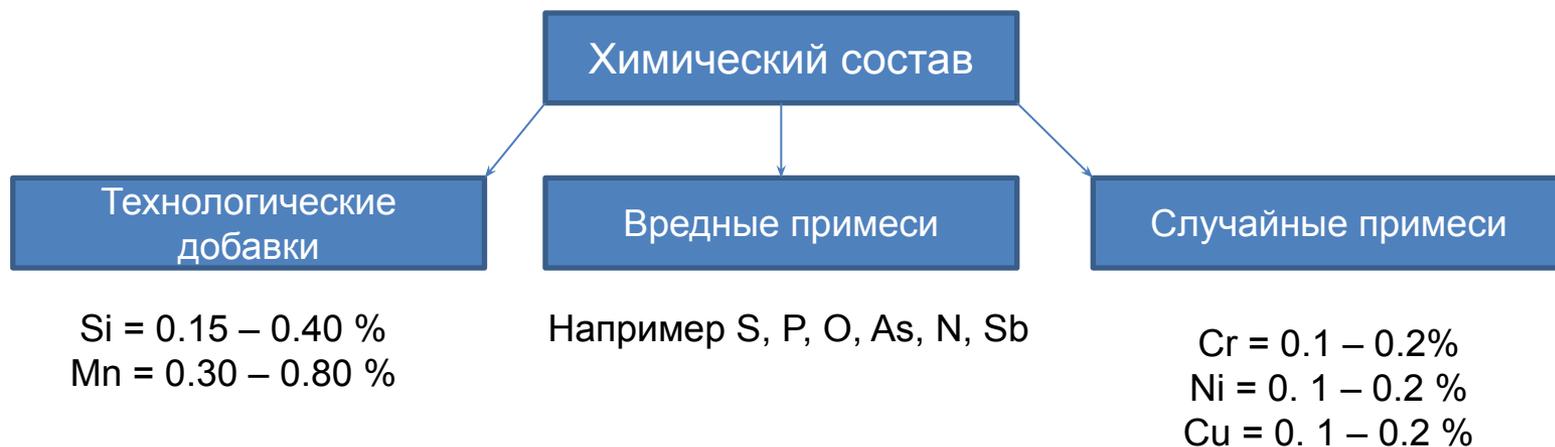
Воробьев Р.А.
Горшунов М.
Г.



Легированные стали и легирующие элементы

Легированные стали – это стали, в которые для придания специальных механических, химических или физических свойств, вводят легирующие элементы.

Легирующими элементами нужно считать те элементы, которые специально введены в сталь для придания ей специальных свойств, например, определенной прокаливаемости, коррозионной стойкости, жаропрочности и тп.



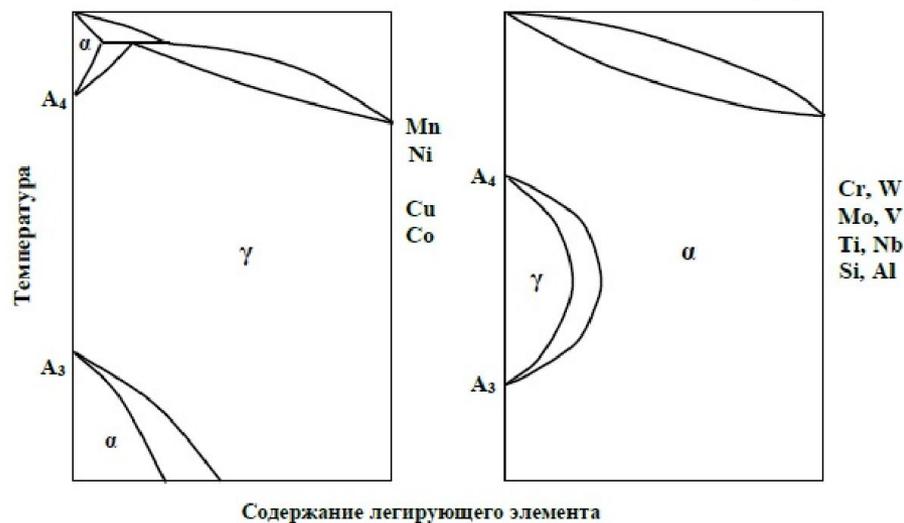
Все указанные выше технологические добавки, вредные и случайные примеси не могут рассматриваться как легирующие элементы.



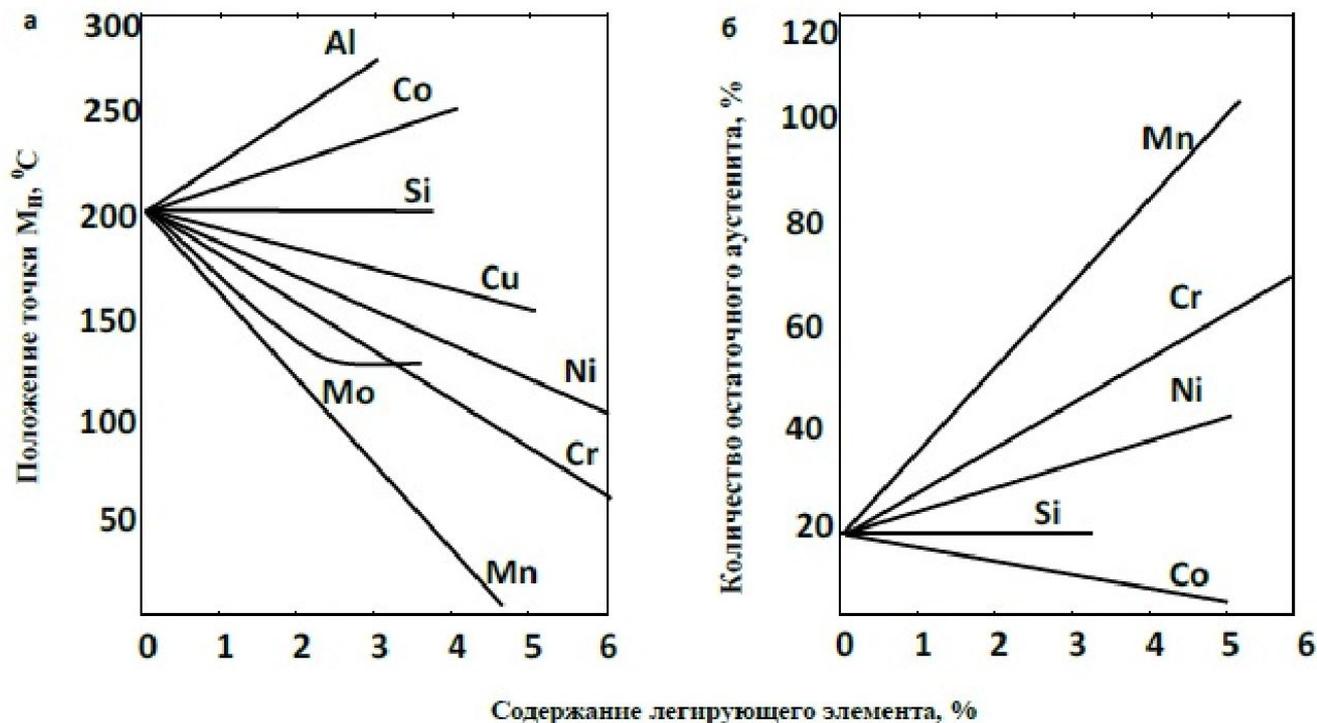
Легированные стали и легирующие элементы



Легирующие элементы влияют на полиморфизм железа



Влияние легирующего элемента на температуру мартенситного превращения и на количество остаточного аустенита



Большинство легирующих элементов способствует снижению температуры начала мартенситного превращения и повышению в закаленной стали остаточного аустенита. Кобальт и алюминий воздействуют противоположно, кремний не оказывает влияния



Классификация легированных сталей

По структуре в равновесном состоянии:

- **дозвтектоидные** (структурный признак феррит избыточный);
- **эвтектоидные** (структурный признак 100 % перлит);
- **заэвтектоидные** (структурный признак цементит вторичный);
- **ледебуритные** (карбидные) (наличие ледебуритной эвтектики).

По структуре в нормализованном состоянии:

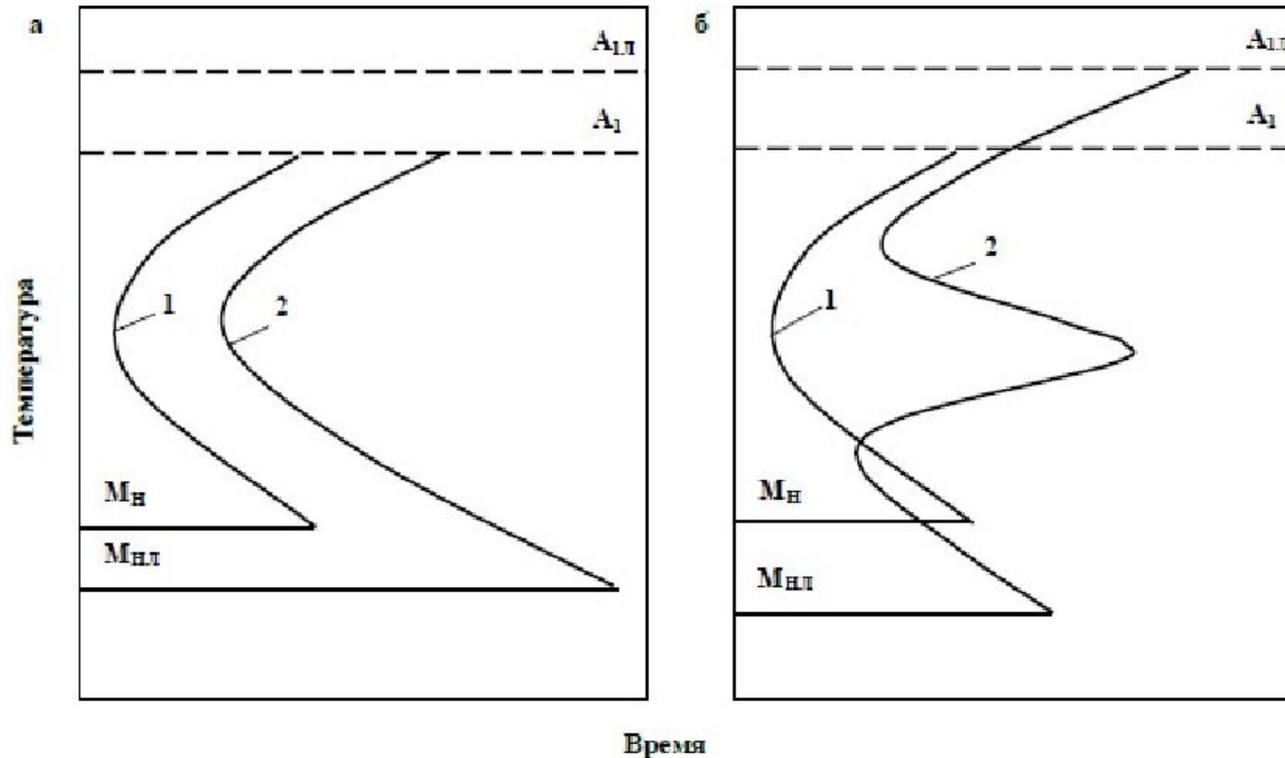
- **стали перлитного класса** (содержание легирующих элементов не более 4 – 5%);
- **стали мартенситного класса** (содержание легирующих элементов не более 10 – 15% и высокая устойчивость аустенита);
- **стали аустенитного класса** (структурный признак – наличие аустенита при комнатной температуре).

По назначению:

- **конструкционные** (машиностроительные, строительные);
- **инструментальные** (штамповый, мерительный и режущий инструмент);
- **стали с особыми свойствами** (коррозионно - стойкие, жаропрочные, магнитные и электротехнические)



Влияние легирующих элементов на кинетику распада переохлажденного аустенита



а – углеродистая сталь (кривая 1) и сталь, легированная некарбидообразующими элементами (кривая 2); б - углеродистая сталь (кривая 1) и сталь, легированная карбидообразующими элементами (кривая 2)



Влияние легирующих элементов на положение точек S и E на диаграмме Fe – FeC₃

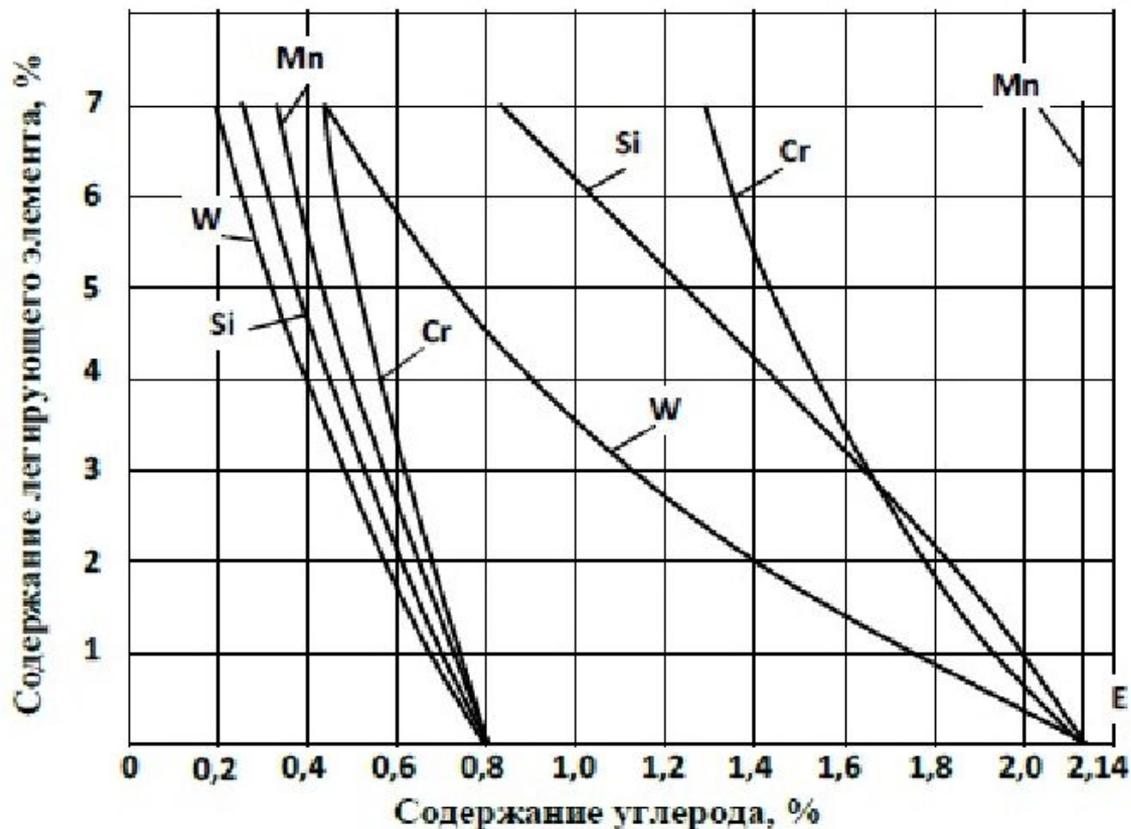
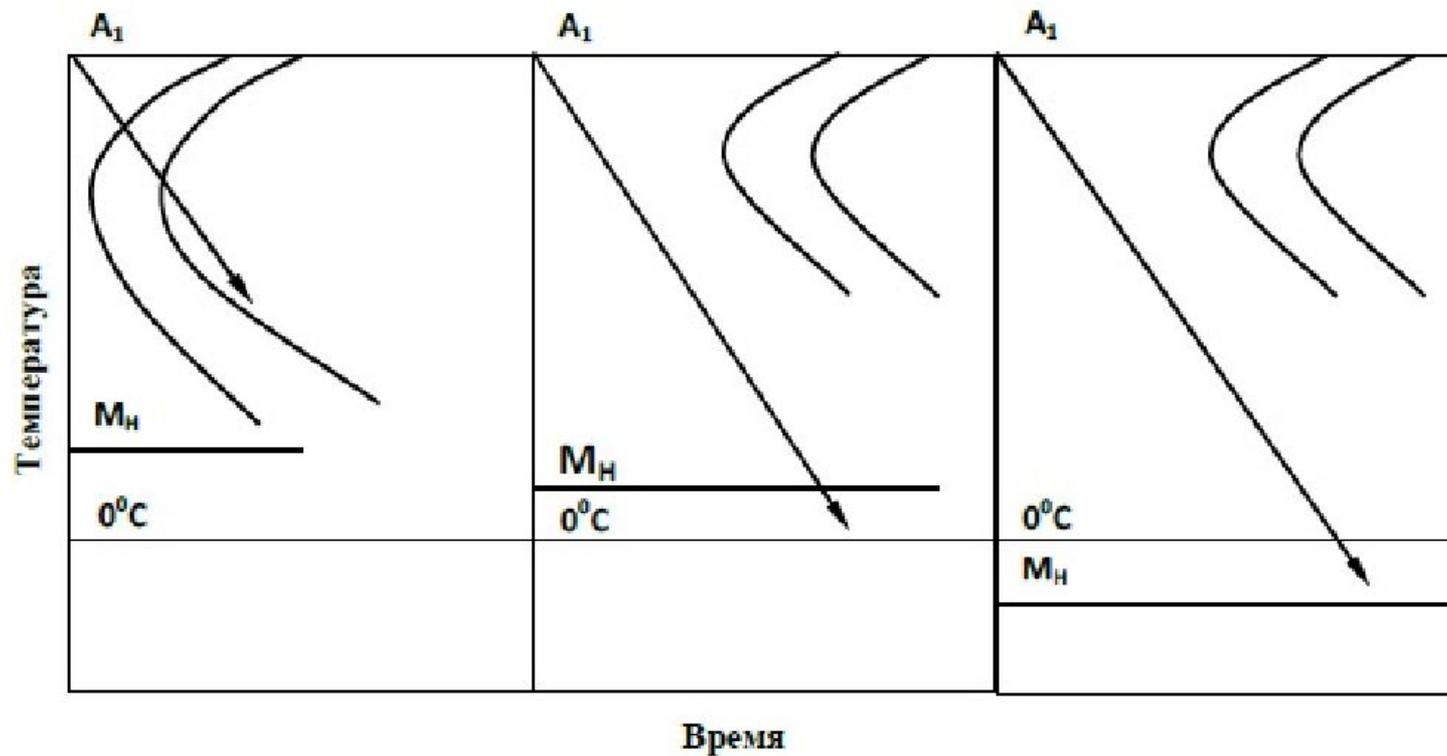


Диаграмма изотермического распада аустенита



Перлитные стали

Мартенситные стали

Аустенитные стали



Конструкционные стали общего назначения

Эти стали относят к перлитному классу и могут быть классифицированы: улучшаемые, пружинные, строительные, подвергаемые поверхностному упрочнению. Улучшаемые стали используются для изготовления наиболее ответственных тяжело нагруженных деталей машин и приборов. Название получили от характерной для них термической обработки - улучшения, состоящей, как ранее отмечалось, из закалки (с температуры $A_{c3}+30...50$ °С в масле) и высокого отпуска (при температуре 550-680 °С), позволяющих существенно повысить весь комплекс механических свойств.

Повышение комплекса механических свойств по сравнению с углеродистыми сталями достигается за счёт:

- меньшей величины зерна (легирующие элементы уменьшают склонность к росту зерна);
- сферической формы карбидной фазы (структура - сорбит отпуска) в сочетании с пересыщенной углеродом альфа-фазой;
- более высокой прокаливаемости (возможность получения равномерных свойств в сечениях более 10 мм).

Улучшаемые стали легируют хромом, марганцем, никелем, молибденом, ванадием и другими элементами, общее содержание которых не превышает 4 - 5 %.



Свойства и применение улучшаемых сталей

Показатель	Величина
σ_B	900-1200 МПа
$\sigma_{0.2}$	750-1100 МПа
δ	10-15 %
ψ	45-55 %
КСУ	0.6-1.2 МДж/м ²



Исключение составляют стали 40Г2 и 30Г2, легированные марганцем, у которых $\sigma_B = 600$ — 670 МПа, $\sigma_{0.2} = 350 - 390$ МПа.

Рекомендуется знать примерный уровень свойств ($\sigma_B \sim 1000$ МПа, $\sigma_{0.2} \sim 800$ МПа, КСУ $\sim 0,6$ МДж/м²), а при расчётах рекомендуется пользоваться справочными материалами.

Тяжелонагруженные детали должны обладать равномерными свойствами по всему сечению. В связи с этим при выборе марки стали нужно руководствоваться правилом - **сечение детали не должно превышать прокаливаемости (мм) выбранной стали.**



Легирующие элементы

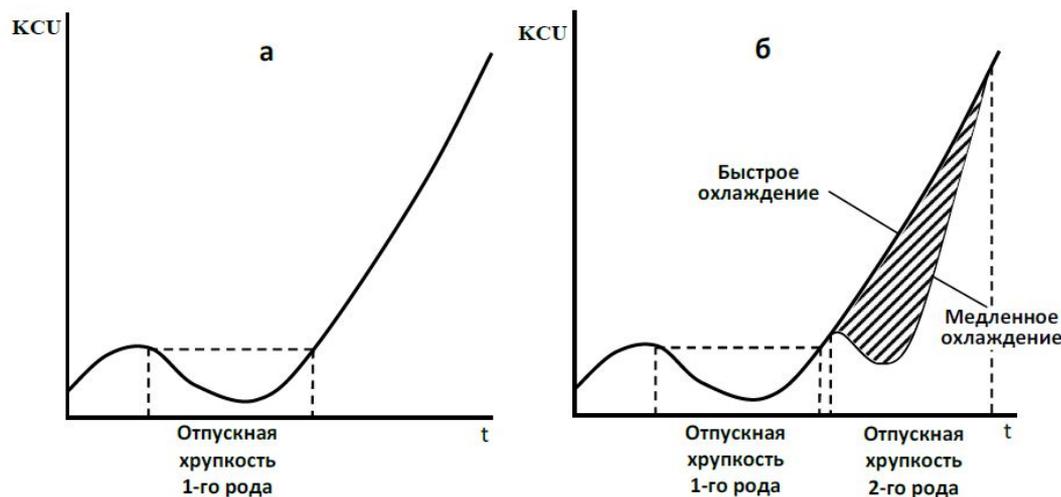
Хром повышает прокаливаемость, но одновременно усиливает склонность к обратимой отпускной хрупкости (хрупкости 2-го рода).

Обратимая отпускная хрупкость развивается в сталях, легированных хромом или марганцем (или совместно Cr и Mn) при медленном охлаждении после высокого отпуска. Обратимой эта хрупкость называется потому, что при проведении повторного высокого отпуска, но обязательно при медленном охлаждении, она проявляется вновь. Необратимая - устраняется повторным отпуском (более длительным) или отпуском при более высокой температуре.

Усиливают хрупкость 2-го рода все некарбидообразующие элементы (например, кремний, никель).

Меры борьбы с обратимой отпускной хрупкостью:

- ускоренное охлаждение после отпуска (в воде). Для крупных деталей не всегда эффективно;
- легирование Mo или W. Вольфрам дорог и в конструкционных сталях почти не применяется.



Отпускная хрупкость в углеродистых (а) и легированных (б) сталях



Прокаливаемость некоторых марок улучшаемых сталей

Прокаливаемость (мм)	Группа стали по химическому составу	Примеры марок стали
До 20 ÷ 25	Хромистые и хромованадиевые	40Х, 40ХФА, 35ХАФ, 35Х2АФ, 40Х2АФЕ,
До 30	Марганцовистые	40Г2, 30Г2, 45Г2, 50Г2
До 40	Хромомарганцевые	40ХГТР, 35ХГФ, 25ХГТ, 30ХГТ, 40ХГТ
	Хромокремнистые	38ХС
	Хромокремнемарганцевая	30ХГСА
	Хромомолибденовая	30ХМА, 30Х3МФ, 40ХМФА
	Хромоникелевая	40ХН, 30ХН3А
Более 100	Хромоникельмолибденовая	30ХН2МА, 40ХН2МА, 18Х2Н4МА, 30ХН3МФА, 20Х2Н4А, 38Х2Н2МА



Ванадий и **титан** препятствуют росту зерна.

Азот повышает прочность за счёт образования в стали нитридов.

Селен улучшает обрабатываемость резанием.

Марганец повышает прокаливаемость. Его отрицательная роль заключается в усилении склонности к росту зерна; при отрицательных температурах может быть понижена ударная вязкость; как и хром, способствует развитию обратимой отпускной хрупкости.

Никель повышает прокаливаемость, особенно в сочетании с хромом; повышает вязкость. Отрицательная роль никеля заключается в усилении хрупкости второго рода.

Кремний способствует повышению прочности и, как никель, усиливает обратимую отпускную хрупкость.

N Азот А	Nb Ниобий Б	W Вольфрам В	Mn Марганец Г	Cu Медь Д	Se Селен Е
Co Кобальт К	Mo Молибден М	Ni Никель Н	P Фосфор П	B Бор Р	Si Кремний С
Ti Титан Т	C Углерод У	V Ванадий Ф	Cr Хром Х	Zr Цирконий Ц	Al Алюминий Ю



Пружинные стали

Предназначены для изготовления **пружин, рессор и других пружинных деталей**, работа которых характеризуется деформацией лишь в упругой области.

Способы торможения дислокаций



Возникновение пластических деформаций в изделиях не допускается, так же не требуется высокой ударной вязкости и пластичности.

Механической характеристикой свойств для пружинных сплавов является условный предел упругости, соответствующий появлению остаточной деформации 0.001% .

Для достижения высоких значений предела прочности и текучести и для повышения сопротивления малым пластическим деформациям $\sigma_{0.001}$ должны быть созданы препятствия для перемещения практически всех дислокаций.



Легирующие элементы в пружинных сталях

1. Легирующие элементы, вводимые в пружинные стали в больших количествах с целью изменения структурного и фазового состава во всем объеме стали (Cr, Mo, V, Mn, Si). Кремний повышает сопротивление развитию микропластических деформаций, марганец повышает предел упругости.
2. Элементы, вводимые в сталь в малых количествах (микролегирование, например бор), как правило, с целью локального изменения структурного состояния, усиления закрепления дислокаций и связывания вакансий. Эти элементы в основном повышают сопротивление микропластическим деформациям и релаксационную стойкость.

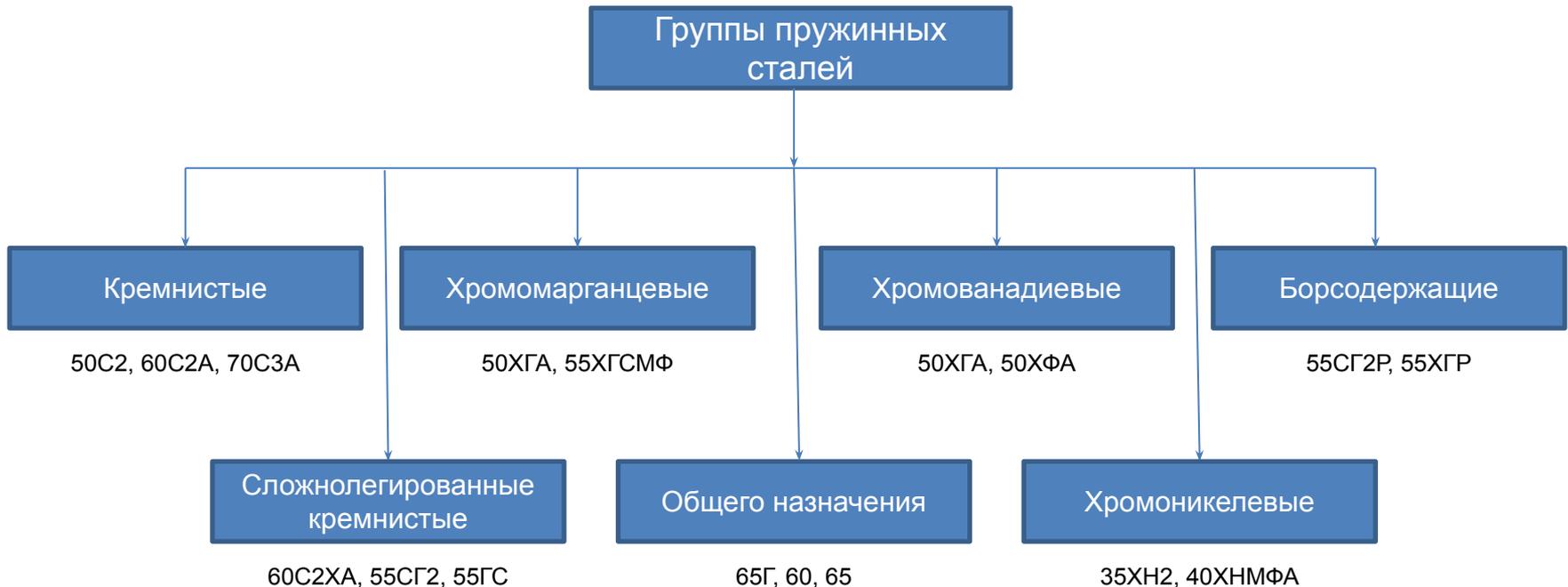
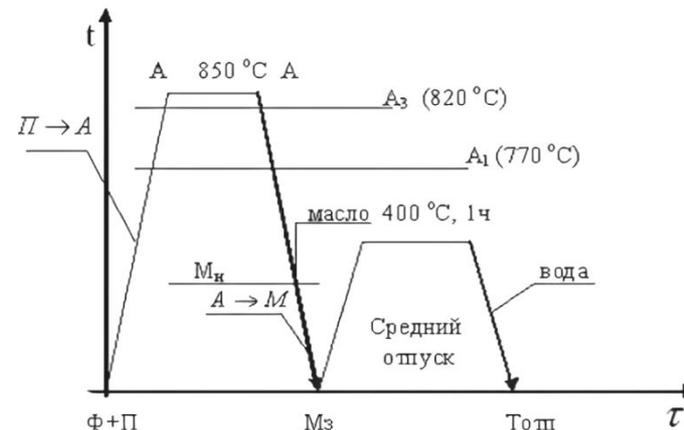
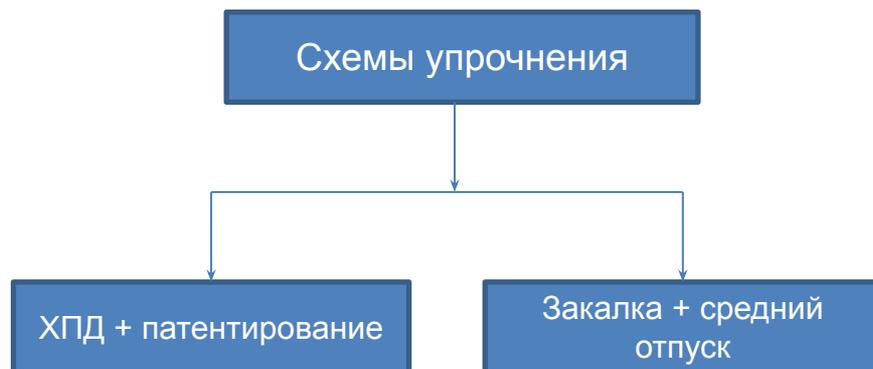


Схема упрочнения пружинных сталей



Патентирование - вид термической обработки, заключающейся в нагреве заготовки выше температуры A_{c3} , выдержке и изотермическом распаде аустенита в ваннах со свинцом, расплавами солей или с кипящим слоем, что обеспечивает получение в металле структуры тонкопластинчатого перлита (сорбита или троостита в зависимости от температуры изотермической обработки). Обычно после изотермической термообработки металл подвергается последующей деформации с большими степенями (до 90%).

Пружины из углеродистых, марганцевых, кремнистых сталей работают при температурах не более 200 °C. При нагреве до 300 °C используют пружины из стали 50ХФА, а при более высоких температурах – из более теплостойких сталей: до 500 °C – из стали 3Х2В8Ф, до 600 °C – из стали Р18.



Строительные стали

Предназначены для изготовления:

- строительных конструкций (мосты, фермы, опоры высоковольтных передач);
- арматуры железобетона;
- котлов, труб газо – и нефтепроводов;
- железнодорожных вагонов, кузовов автомобилей.

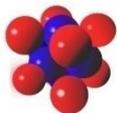
Строительные конструкции, как правило бывают, сварными, что обуславливает использование для этих целей стали с низким содержанием углерода (не более 0.25%).

Из углеродистых сталей наиболее широко применяется сталь марки СтЗсп в горячекатаном и термически упрочненном состояниях.

Механические свойства углеродистой строительной стали

Марка стали	Вид проката	Режим термического упрочнения	σ_B	σ_T	δ	ψ	K*
			МПа		%		
Ст 3 сп	Швеллер №19	С прокатного нагрева с самоотпуском	440	340	28,5	56,5	1,45
			640	470	15,2	53,5	
Ст 5 сп	Арматура №14	Электронагрев с самоотпуском	610	390	24,7	-	1,84
			1120	1050	9,8		

Выпускается так же углеродистая термоупрочненная сталь специально для сварных конструкций: ВСтТсп, ВСтТпс, ВСтТкп, содержащая 0.10 – 0.21 %С и 0.4 – 0.65 % Mn.



Легированные строительные стали

Легировается строительная сталь марганцем, кремнием, суммарное количество которых не превышает 2 – 3 %. Так же в состав легирующих элементов входят: Cr, V, Nb, Ti, Cu.

К низколегированным строительным сталям для строительных конструкций относят марки: 14Г2, 17ГС, 14ХГС, 15ХСНД.

Введение в сталь небольших добавок ванадия и ниобия (до 0.1%) совместно с азотом (0.015 – 0.025 %) обеспечивает дополнительное упрочнение за счет образования карбонитридов этих элементов и измельчения зерна. Это стали 14Г2АФ, 17Г2АФБ.

Для армирования железобетона используют гладкий или периодический прокат из более прочных сталей с повышенным содержанием (до 0.3%) углерода: 25Г2С, 30ХГСА.

В мостостроении, для изготовления сварных конструкций применяются стали с высокой прочностью ($\sigma_{0.2} > 600$ МПа): 10ХСНД, 15ХСНД, 10Г2С1Д, 16Г2АФ.

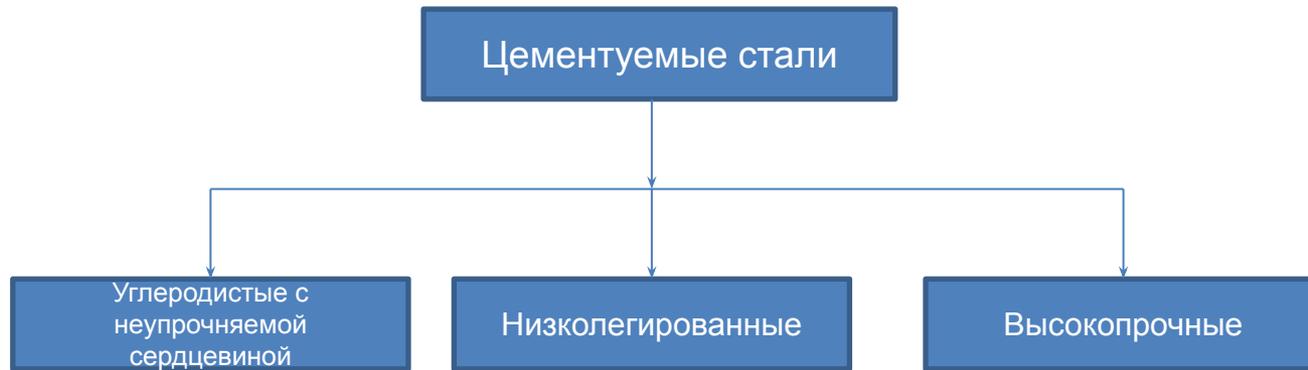
В вагоностроении и сельскохозяйственном машиностроении применяют высокопрочные стали кой прочностью ($\sigma_{0.2} > 750$ МПа): 12Г2СМФ, 14ГСМФР.

Для изготовления магистральных газопроводных труб большого диаметра применяют стали: 14ХГС ($\sigma_{0.2} = 350$ МПа, $\sigma_B = 580$ МПа), 17Г1С ($\sigma_{0.2} = 370$ МПа, $\sigma_B = 520$ МПа), 16Г2САФ ($\sigma_{0.2} = 420$ МПа, $\sigma_B = 600$ МПа), 16Г2АЮ ($\sigma_{0.2} = 370$ МПа, $\sigma_B = 550$ МПа) в горячекатаном состоянии и 17ГСФ ($\sigma_{0.2} = 420$ МПа, $\sigma_B = 600$ МПа) в термоупрочненном состоянии.



Цементуемые стали

Цементации подвергаются стали из углеродистых и легированных сталей, содержащих 0.1 – 0.3% С. После цементации производится закалка и низкий отпуск. Твердость поверхностного слоя получают около 60 HRC, а сердцевины 15 – 30 HRC.



В деталях из углеродистой стали вследствие ее слабой закаливаемости, сердцевина не упрочняется. В деталях для легированных сталей упрочнение сердцевины будет более существенным, чем больше углерода и легирующих элементов они содержат.

В сталях первой группы превращение аустенита начинается практически без инкубационного периода – образуется смешанная **ферритно-перлитная структура**. Для сталей второй группы характерно повышение устойчивости аустенита в перлитном интервале. Поэтому при закалке в масле сердцевина испытывает превращение в **нижний бейнит** и заметно упрочняется. Охлаждение сталей третьей группы в масле или даже в воздухе приводит к получению в сердцевине структуры, состоящей из нижнего бейнита и мартенсита. Следовательно, деление цементуемых сталей на три группы соответствует получению в них при охлаждении в масле трех типов структур: **ферритно-перлитной, нижнебейнитной и мартенситной**.

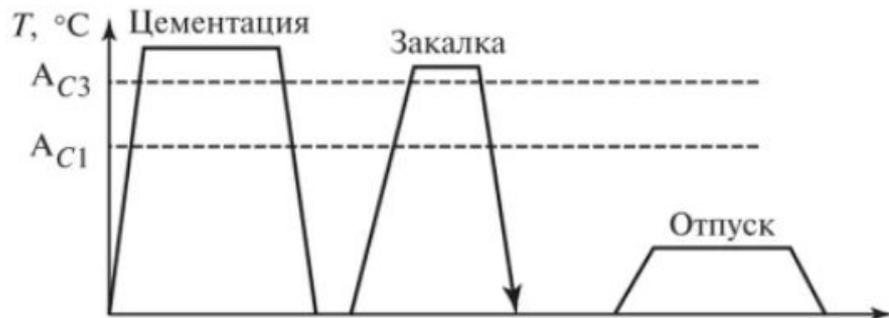
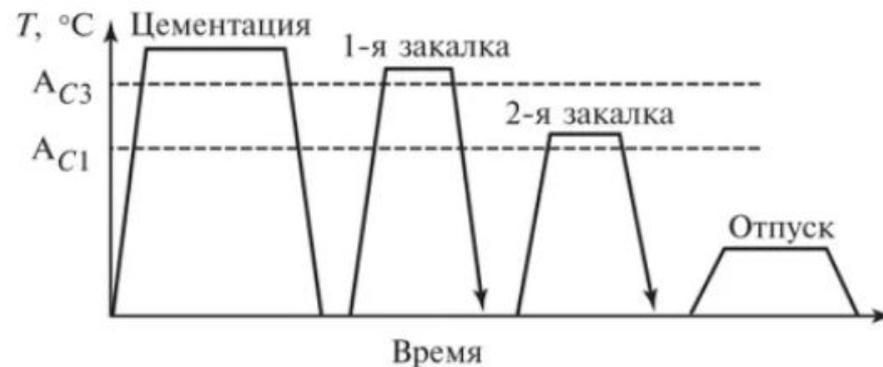


Примеры марок цементуемых сталей

Группа сталей	Марка стали	Механические свойства				
		$\sigma_{в.}$ МПа	$\sigma_{0,2}$ МПа	δ , %	Ψ , %	КСУ, МДж/м ²
Углеродистые	10	400	250	35	70	См. примечание
	15	430	270	32	65	
	20	470	300	30	60	
Низколегированные	15Х	750	650	15	55	1,0
	20Х	850	700	15	55	1,2
	15ХР	750	650	15	55	1,2
	20ХН	850	700	15	55	1,2
Высокопрочные	20ХГР	1300	1100	12	50	0,8
	20ХНР	1300	1100	14	60	0,9
	18ХГТ	1300	1100	12	50	0,8
	30ХГТ	1600	1400	10	40	0,7
	18ХНМФ	1200	1000	15	55	1,6
	12ХН3	1200	1000	15	60	1,0
	12Х2Н4	1200	1100	15	60	1,0
	18Х2Н4МА	1300	1100	14	55	1,0



Термическая обработка сталей после цементации



Стали для азотирования

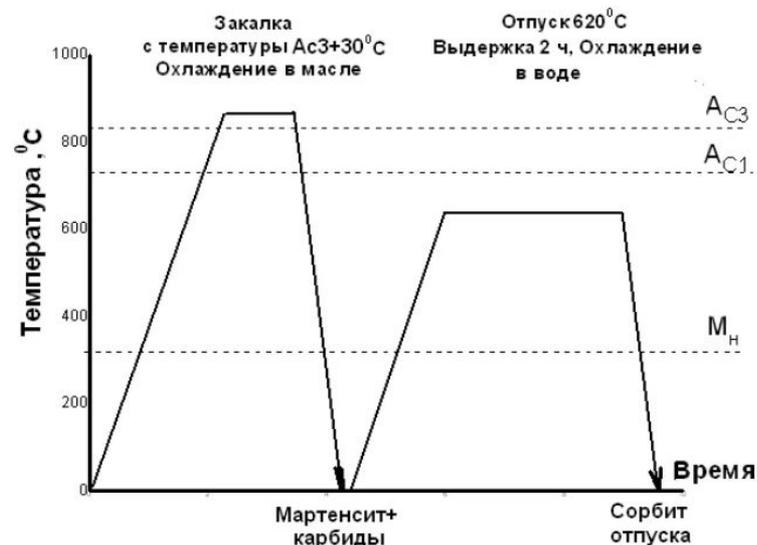
Азотируемые стали легируют элементами, образующими с азотом твердые дисперсные термически стойкие нитриды (AlN , Cr_2N , Mo_2N , W_2N , V_2N), являющиеся препятствиями на пути движения дислокаций, в результате чего и получается высокая твердость азотированного слоя (12000 HV).

Наиболее широкое применение нашли стали 38Х2МЮА и 38ХВФЮА.

Сталь 38Х2МЮА имеет высокие механические свойства (твердость после закалки и отпуска 600 – 620 °С 2600 – 2900 МПа). Твердость азотированного слоя 10000-12000 HV. У стали 38ХВФЮА азотированный слой отличается меньшей хрупкостью, но и меньшей твердостью (8500 – 9500 HV).

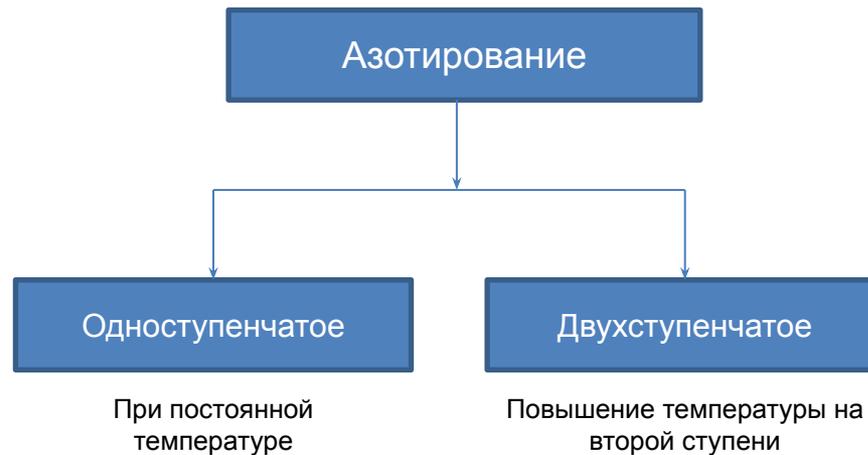
Ответственные детали высокой прочности и вязкости, предназначенные для работы в условиях повторно-переменных нагрузок (шатуны, зубчатые колеса), изготавливают из сталей 30ХН2МФА, 18Х2Н4МА, 40Х2Н2МА. Эти стали обладают большей прокаливаемостью, поэтому их применяют для изготовления деталей больших размеров. Твердость после азотирования 6000-8500 HV.

Для обеспечения высоких механических свойств сердцевины и подготовки структуры для азотирования детали подвергают предварительной термической обработке – улучшению. При этом отпуск должен быть выше, чем температура азотирования.

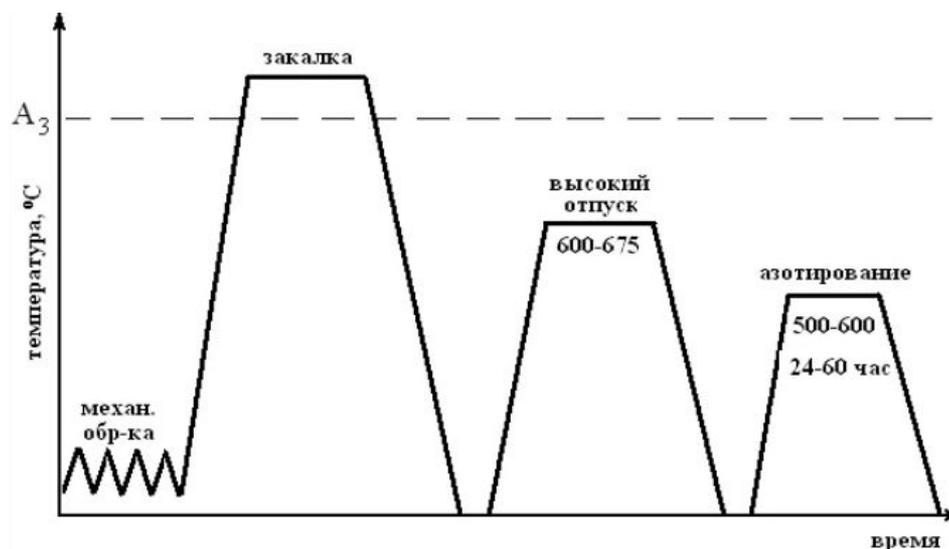


При термической обработке деталей из стали 38Х2МЮА необходимо учитывать следующие особенности:

- Большая склонность к обезуглероживанию, поэтому необходимо предусматривать большой припуск на механическую обработку.
- Алюминий задерживает диффузионные процессы, поэтому для получения более однородного зерна аустенита необходимо увеличивать выдержку примерно в 1.5 раза.
- Склонность к росту зерна аустенита при незначительном перегреве.



Одноступенчатый режим осуществляется при 500 – 520 °С и характеризуется наиболее высокой твердостью азотированного слоя, однако процесс отличается продолжительностью (при получении слоя 0.5 мм требуется 40 часов).



При двухступенчатом режиме создаются наиболее благоприятные условия для насыщения поверхностного слоя азотом. На первой ступени (500 – 520 °С) диффузия азота протекает слабо, получается неглубокий, но хорошо насыщенный азотом слой. На второй ступени (550 – 570 °С) диффузия азота протекает более интенсивно, толщина слоя быстро увеличивается, но твердость несколько снижается.

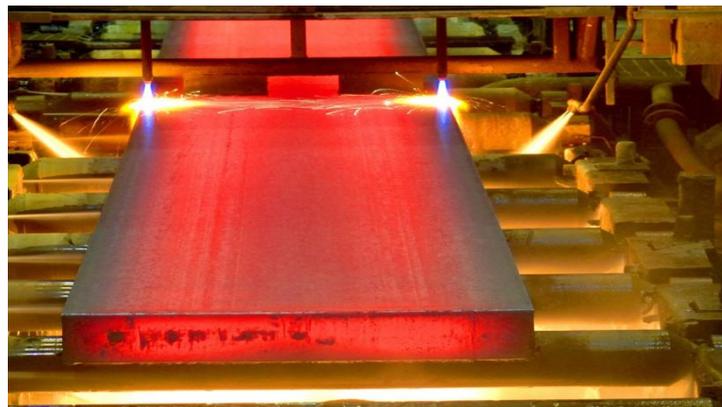
После азотирования детали охлаждают до 300 – 350 °С вместе с печью в потоке аммиака. Так как необходимая твердость получается сразу после азотирования, последующей закалки не требуется.



Конструкционные стали специального назначения

К этим сталям относятся:

- Высокопрочные;
- Коррозионно-стойкие;
- Износостойкие;
- Подшипниковые;
- Судостроительные;
- Хладостойкие и др.



Высокопрочные стали. Высокопрочными называются стали, обладающие пределом прочности более 1500 МПа.

Углеродистые стали (содержащие 0.3-0.4 %С) после закалки и низкого отпуска имеют предел прочности 1700-2000 МПа. Упрочнение происходит за счёт повышения содержания углерода рационально только до 0.4 %, так как увеличение содержания углерода повышает порог хрупкости. При $\sigma_B > 2000$ МПа разрушение становится почти полностью хрупким. Поэтому применение углеродистых сталей, отпущенных при низких температурах, возможно лишь тогда, когда условия работы исключают динамические нагрузки.

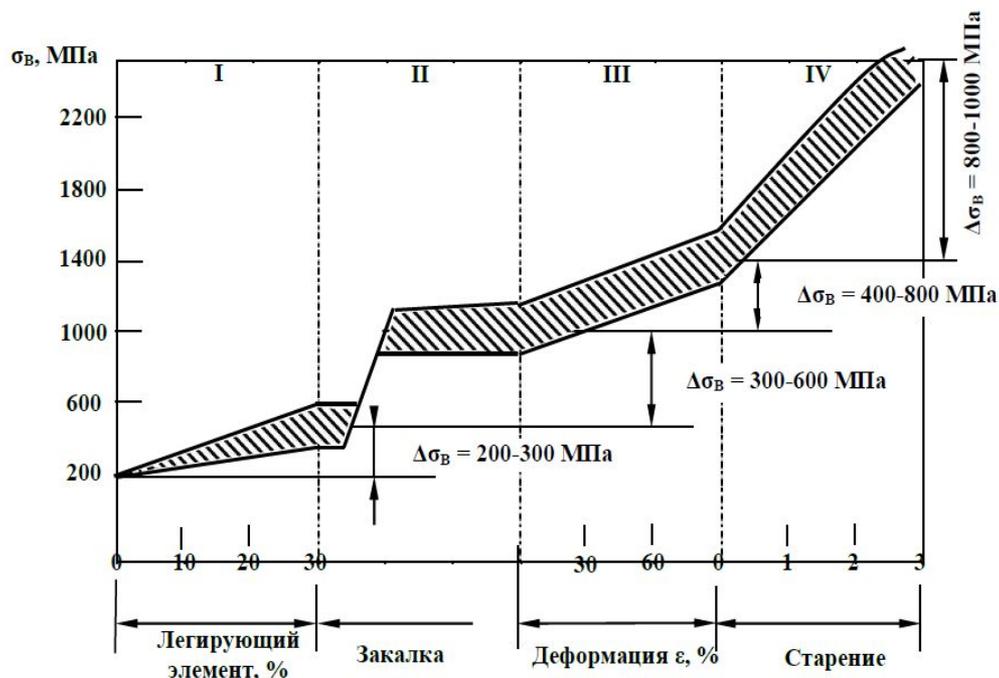


Мартенситностареющие стали

Мартенситностареющие стали характеризуются высокими значениями прочности ($\sigma_B > 2000$ МПа) в сочетании с высокой вязкостью и пластичностью ($\psi > 50\%$, $KCU > 0.5$ МДж/м²). Опасность хрупких разрушений уменьшается благодаря минимальному содержанию углерода (не более 0.03%). Легируют эти стали всегда несколькими элементами. Основным легирующим элементом является никель, содержание которого составляет 17-26 %.

Для более эффективного протекания процесса старения мартенсита стали дополнительно легируют титаном (0.6-1.0 %), алюминием (0.15-0.35 %), молибденом (3-5 %), кобальтом (до 15 %).

Суммарное упрочнение мартенситностареющих сталей складывается из упрочнения твёрдого раствора путём легирования, упрочнения при мартенситном превращении и последующей пластической деформации (если таковая реализуется) и старения.



Широкое распространение имеет сталь 03Н18К9М5Т, содержащая: не более 0.03 %С, 17-19 %Ni, 7-9 %Со, 4-6 % Мо, 0.5 %Ti Эту сталь подвергают закалке на воздухе от 800-850 °С, в результате которой получается структура безуглеродистого мартенсита со следующими свойствами: $\sigma_B = 1200$ МПа, $\sigma_{0.2} = 1000$ МПа, $\delta = 20$ %, $\psi = 75$ %, КСУ = 2.0 МДж/м². В закалённом состоянии сталь хорошо обрабатывается давлением, резанием и хорошо сваривается.

После старения свойства стали 03Н18К9М5Т характеризуются следующими значениями: $\sigma_B = 2000$ МПа, $\sigma_{0.2} = 1800$ МПа, $\delta = 12$ %, $\psi = 50$ %, КСУ = 0.5 МДж/м². Мартенситностареющие стали применяют в тех отраслях, в которых важна удельная прочность - самолётостроении, ракетостроении.



Коррозионно-стойкие стали

Основным легирующим элементом нержавеющей стали является хром. При введении его в железо свыше 12 % электрохимический потенциал сплава становится электроположительным. Поэтому нержавеющие стали содержат не менее 12.5 % хрома. В этом случае они становятся устойчивыми к электрохимической коррозии во многих агрессивных средах: не ржавеют и не окисляются на воздухе, в воде пресной и морской, во многих кислотах и щелочах.

Нержавеющие стали. Известны три разновидности таких сталей, содержащих в среднем 13, 17 и 25...28 % хрома, которые нередко легируют небольшим количеством других элементов.



Стали мартенситного класса применяют после закалки и низкого (<450 °С) и высокого (630...650 °С) отпуска.

Коагуляция карбидов при 630...650 °С несколько повышает коррозионную стойкость, однако она не достигает исходного уровня для закалённого состояния.

Близки по коррозионной стойкости к мартенситным стали 08Х13 (ферритные) и 12Х13 (ферритно-мартенситные). В связи с понижением содержания углерода эти стали отличаются меньшей твёрдостью, большей пластичностью, вязкостью, удовлетворительной свариваемостью.

Стали с более высоким содержанием хрома относятся к ферритному классу. Они обладают большей стойкостью в агрессивных средах, большей окалиностойкостью. При термической обработке ферритных сталей необходимо учитывать температурные области выделения σ - фазы из α - твёрдого раствора и развитие 475 - градусной хрупкости. 475 - градусная хрупкость - это охрупчивание при выдержках в области 450-550 °С из-за процессов упорядочения. Оба процесса снижают пластичность и вязкость сталей. В частности, при нагреве выше 900...1100 °С и быстром охлаждении у стали возникает склонность к межкристаллитной коррозии.

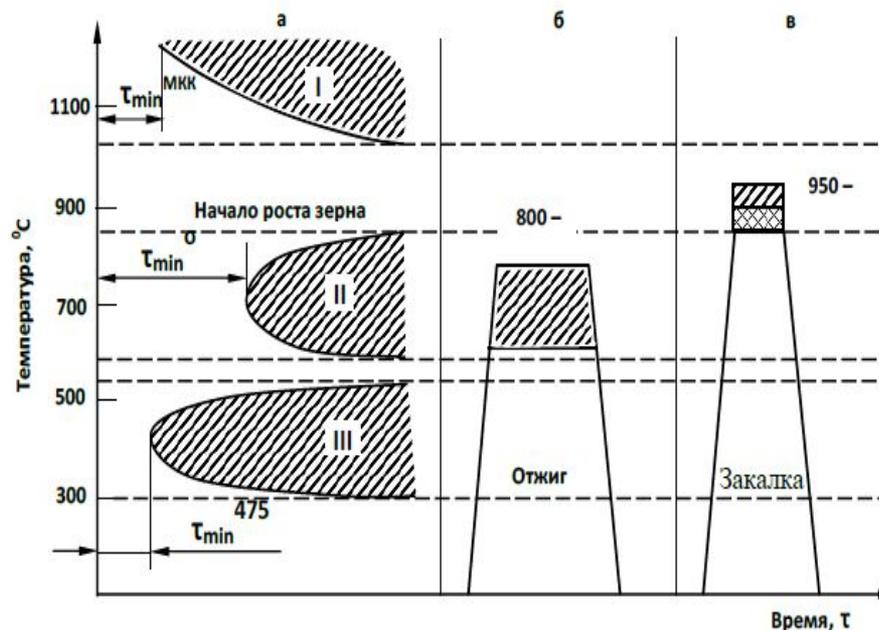
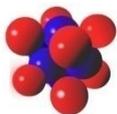


Схема термической обработки хромистых нержавеющей сталей:
 а - развития охрупчивающих процессов ММК (I), образование σ - фазы (II), проявление 475° - хрупкости (III);
 б - отжиг; в - закалка



ИНСТИТУТ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

НГТУ им. Р.Е. Алексеева

Чтобы устранить 475 °-градусную хрупкость, сталь подвергают кратковременному нагреву выше 550 °С (выше области развития этого вида хрупкости). Скорость охлаждения в интервале 350-550 °С должна быть достаточно высокой, чтобы предупредить повторное развитие 475 °-градусной хрупкости. Хрупкость, вызванная выделением σ - фазы, устраняется при нагреве до температуры её растворения.

При температурах выше 850-900 °С в ферритных сталях начинается активный рост зерна; ему сопутствует повышение температуры перехода в хрупкое состояние и увеличение склонности к межкристаллитной коррозии.

В связи с отсутствием полиморфных превращений в ферритных сталях рост зерна - необратимое явление. Перевести ферритную сталь из крупнозернистого в мелкозернистое состояние можно только с помощью пластической деформации.



Хромоникелевые нержавеющие стали. Добавка в высокохромистые стали никеля в количестве, достаточном для перевода в аустенитный класс, обеспечивает лучшие механические свойства, особенно пластичность и вязкость, при некотором повышении коррозионной стойкости. Эти стали более технологичны по сравнению с хромистыми.

Основная группа сталей аустенитного класса содержит примерно 18 % Cr и 10 % Ni. ГОСТ 5632-72 включает следующие марки сталей этого типа: 12Х18Н9, 17Х18Н9, 12Х18Н10Т, 12Х18Н9Т, 08Х18Н10Т, 08Х18Н12Б, 03Х18Н11.

В указанных сталях в зависимости от режима термической обработки могут происходить следующие превращения:

- выделение избыточных карбидных фаз и σ - фазы при нагреве в интервале 450-900 °С;
- образование в аустенитной основе δ -феррита при высокотемпературном нагреве;
- образование α -фазы мартенситного типа при охлаждении или в процессе холодной пластической деформации.



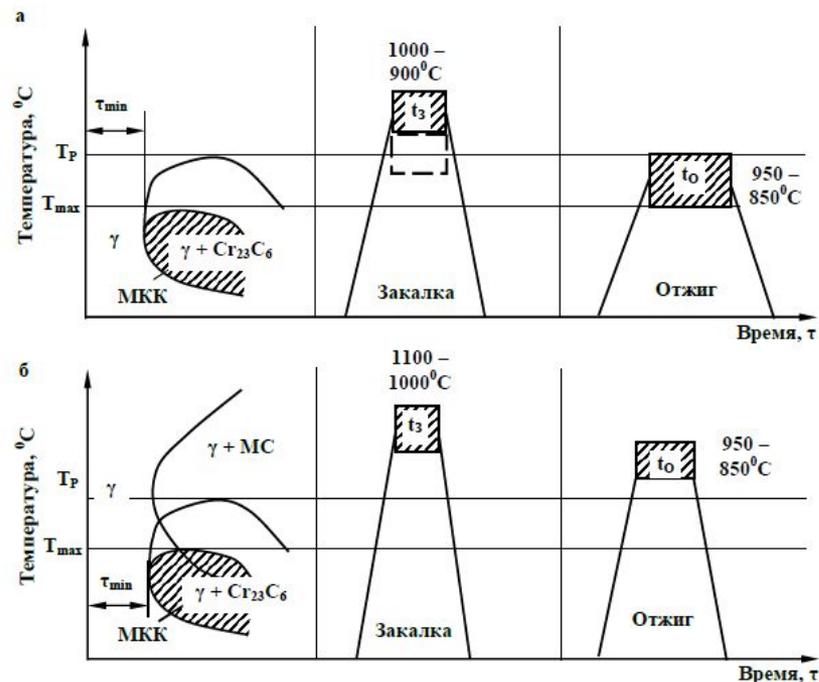
Схема термической обработки сталей типа X18H10 - нестабилизированных и стабилизированных титаном или ниобием

В обоих случаях после обработки возникает склонность стали или сварного соединения к межкристаллитной коррозии, т.е. сенсбилизация. Для обеих групп сталей принципиально возможны два вида термической обработки: закалка и стабилизирующий отжиг.

Закалку стабилизированных сталей проводят для растворения карбидов хрома. Температура закалки мало зависит от содержания углерода, так как большая его часть даже при сенсбилизации остаётся связанной в специальные карбиды.

Закалка нестабилизированных сталей заключается в нагреве выше температуры растворения карбидов хрома (T_p) и достаточно быстром охлаждении, фиксирующем гомогенный γ - твёрдый раствор.

Температура закалки выбирается таким образом, чтобы обеспечить полное растворение карбидов хрома, но при отсутствии чрезмерного роста аустенитного зерна. Так как T_p возрастает с повышением содержания углерода, низкоуглеродистые стали закалывают, начиная с более низких температур.



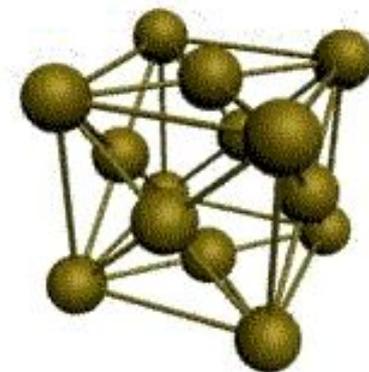
Закалка, начиная с температуры выше 1000 - 1100 °С не производится из-за быстрого роста зерна и возможности растворения специальных карбидов.

В связи с тем, что быстрое охлаждение крупногабаритных и сложных (особенно сварных) изделий может привести к короблению, вместо закалки применяют стабилизирующий отжиг, который осуществляют при более низких температурах.

При стабилизирующем отжиге карбиды хрома приводят в неопасное для межкристаллитной коррозии состояние (нестабилизированные стали) или трансформируют в специальные карбиды (стабилизированные стали).

Продолжительность выдержки при стабилизирующем отжиге 2-4 часа.





СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!!!

