

# Материаловедение

Конструкционные и легированные  
стали

## Общая классификация сталей

Классификация сталей и сплавов производится *по химическому составу, качеству* (способу производства и содержанию примесей), и *назначению*.

По *химическому составу* стали классифицируют на *углеродистые* и *легированные*.

*Углеродистые стали* делят в зависимости от содержания углерода на *малоуглеродистые* – менее 0,6% С; *среднеуглеродистые* – 0,6...0,7% С; *высокоуглеродистые* – более 0,7%С.

*Легированные стали* в зависимости от введенных элементов подразделяют на *хромистые, марганцовистые, хромоникелевые, марганцевые* и др. Классификация по химическому составу определяется суммарным процентом содержания легирующих элементов: *низколегированные* – менее 5%; *среднелегированные* – 5...10%; *высоколегированные* – более 10%.

Легированные стали и сплавы делятся на классы по структурному составу: в отожженном состоянии – *доэвтектоидный, заэвтектоидный, ледебуритный (карбидный), ферритный, аустенитный*; в нормализованном состоянии – *перлитный, мартенситный и аустенитный классы*. К перлитному классу относят углеродистые и легированные стали с низким содержанием легирующих элементов, к мартенситному классу – с их более высоким содержанием, а к аустенитному – с высоким содержанием легирующих элементов.

*По качеству* (по способу производства и содержанию вредных примесей), стали и сплавы делятся на следующие группы:

	<i>S, менее, %</i>	<i>P, менее, %</i>
<i>обыкновенного качества</i>	0,050	0,040;
<i>качественные</i>	0,040	0,035;
<i>высококачественные</i>	0,025	0,025;
<i>особо высококачественные</i>	0,015	0,025.

*Стали обыкновенного качества* по химическому составу – углеродистые стали, содержащие до 0,6% С. Они выплавляются в кислородных конвертерах или в больших мартеновских печах. Наиболее дешевые, имеют низкие механические свойства, отличаются повышенными ликвацией и количеством неметаллических включений.

*Стали качественные* по химическому составу могут быть *углеродистыми* или *легированными*. Они также выплавляются в конвертерах или в основных мартеновских печах, но с соблюдением более строгих требований к составу шихты, процессам плавки и разливки.

Оба вида сталей *по степени раскисления* и характеру затвердевания металла в изложнице делят на *спокойные (сп)*, *полуспокойные (пс)* и *кипящие (кп)*. Каждый из этих сортов отличается содержанием кислорода, азота и водорода. Так, в кипящих сталях содержится наибольшее количество этих элементов.



Стали высококачественные выплавляются преимущественно в электропечах, а особо высококачественные – в электропечах с электрошлаковым переплавом или другими совершенными методами, что гарантирует повышенную чистоту по неметаллическим включениям и содержанию газов, а следовательно, улучшение механических свойств.

По назначению стали и сплавы делят на *конструкционные, инструментальные стали* и *стали с особыми физическими и химическими свойствами*.

## Маркировка сталей

*Углеродистые стали.* По назначению их делят на *конструкционные* и *инструментальные*. Первые в свою очередь делятся на *углеродистые конструкционные стали обыкновенного качества* и *углеродистые конструкционные качественные стали*.

*Углеродистая конструкционная сталь обыкновенного качества* (ГОСТ 380-94) содержит 0,06...0,49%С; 0,25...1,2%Mn; 0,05...0,3%Si. Cr, Ni и Cu должны быть  $\leq 0,3\%$  каждого, N –  $\leq 0,01\%$ , S –  $\leq 0,05\%$ , P –  $\leq 0,04\%$ . В равновесном состоянии эти стали имеют *ферритно-перлитную структуру*. В маркировке этих сталей буквы Ст означают «сталь обыкновенного качества», цифры – условный номер марки в зависимости от нормируемых показателей (величин механических свойств). Чем больше условный номер стали, тем больше в ней содержание углерода и перлита и тем выше ее прочность и ниже пластичность.

Углеродистые конструкционные стали обыкновенного качества изготавливают следующих марок: Ст0...Ст6. Стандартом предусмотрена также сталь с повышенным (0,8... 1,2%) содержанием марганца: Ст3Гпс, Ст3Гсп и Ст5Гпс. Наиболее распространенная сталь Ст3сп имеет  $\sigma_B = 380...490$  МПа,  $\sigma_{0,2} = 210...250$  МПа и  $\delta = 25...22\%$ , а Ст5сп –  $\sigma_B = 500...600$  МПа,  $\sigma_{0,2} = 240...280$  МПа и  $\delta = 20...17\%$ . Дополнительными индексами в конце марки указываются степень раскисления и характер затвердевания стали (например, Ст3кп, Ст5пс, Ст6сп).

## Сопоставление марок стали типа Ст и Fe по международным стандартам ИСО 630-80 и ИСО 1052-82

Марки стали			
Ст	Fe	Ст	Fe
Ст0	Fe310-0	Ст4кп	Fe430-A
Ст1кп	—	Ст4пс	Fe430-B
Ст1пс	—	Ст4сп	Fe430-C
Ст1сп	—	—	Fe430-D
Ст2кп	—	Ст5пс	Fe510-B, Fe490
Ст2пс	—	Ст5Гпс	Fe510-B, Fe490
Ст2сп	—	Ст5сп	Fe510-C, Fe490
Ст3кп	Fe360-A	Ст6пс	Fe590
Ст3пс	Fe360-B	—	—
Ст3Гпс	Fe360-B	Ст6сп	Fe590
Ст3сп	Fe360-C	—	Fe690
Ст3Гсп	Fe360-C, Fe360-D		

*Углеродистые конструкционные стали обыкновенного качества* предназначены для изготовления *горячекатаного проката* (сортового, фасонного различных профилей – балки, швеллеры, уголки, прутки), *холоднокатаного тонколистового проката, слитков, катаных и непрерывно-литых труб, поковок и штамповок, ленты, проволоки* и др.

Для многих конструкций и машин, работающих в северных районах, большое значение приобретает температура перехода стали в хрупкое состояние. *Порог хладноломкости* для случая полностью хрупкого излома наиболее распространенной мартовской стали Ст3 (листовая сталь) находится для кипящей стали при 0 °С и спокойной при –40 °С. *Поэтому применение кипящей, а также полуспокойной стали для северных районов страны недопустимо.* Понижение порога хладноломкости спокойной стали до –60...–100 °С возможно путем *закалки и высокого отпуска (улучшения)* или *нормализации*. Строительные конструкции и машины, предназначенные для работы в северных районах, следует изготавливать из спокойной, термически обработанной стали. Для мостовых сталей северного исполнения ограничивают содержание P и S (<0,03%P, <0,025%S).

*Качественные углеродистые стали* выплавляют с соблюдением более строгих условий в отношении состава шихты и ведения плавки и разлива. К ним предъявляют более высокие требования по химическому составу:  $S < 0,04\%$ ,  $P < 0,035 \dots 0,04\%$ , а также меньшее количество неметаллических включений, регламентированные макро- и микроструктура.

Качественные углеродистые стали маркируют цифрами 08, 10, 15, 20, ..., 85, которые указывают среднее содержание углерода **в сотых долях процента**. Низкоуглеродистые стали 05кп, 08, 08кп, 10, 10кп обладают невысокой прочностью и высокой пластичностью. Эти стали без термической обработки применяют для малонагруженных деталей (прокладок, шайб, капотов тракторов), элементов сварных конструкций и т.д. Тонколистовую холоднокатаную низкоуглеродистую сталь используют для холодной штамповки изделий.

Стали 15, 20, 25 применяют без термической обработки или в нормализованном виде. Стали поступают в виде проката, поковок, труб, листов, ленты и проволоки и предназначаются для менее ответственных деталей. Сталь хорошо сваривается и обрабатывается резанием. Эти стали используют для **цементуемых** деталей, работающих на износ и не испытывающих высоких нагрузок (например, кулачковых валиков, рычагов, осей, втулок, шпинделей, вилок и валиков переключения передач, толкателей клапанов, пальцев рессор и многих других деталей автотракторного, сельскохозяйственного и общего машиностроения).

*Среднеуглеродистые стали* 30, 35, 40, 45, 50 применяют после нормализации, улучшения и поверхностной закалки для самых разнообразных деталей (распределительные валы, шпиндели, штоки, траверсы, плунжера и т. д.). Эти стали в нормализованном состоянии имеют более высокую прочность при более низкой пластичности. Стали в отожженном состоянии хорошо обрабатываются резанием. Наиболее легко обрабатываются доэвтектоидные стали со структурой пластинчатого перлита. После улучшения стали 40, 45, 50 имеют следующие механические свойства:  $\sigma_B = 600...700$ ,  $\sigma_{0,2} = 400...600$  МПа,  $\psi = 50...40\%$ . Прокаливаемость сталей невелика. Критический диаметр после закалки в воде не превышает 10...12 мм (95% мартенсита). Их следует применять для изготовления небольших деталей или более крупных, но не требующих сквозной прокаливаемости.

*Стали 60, 65, 70, 80 и 85* обладают более высокой прочностью, износостойкостью и упругими свойствами; применяют их после закалки и отпуска, нормализации и отпуска, или поверхностной закалки для деталей, работающих в условиях трения. Из этих сталей изготавливают пружины и рессоры, шпиндели, замковые шайбы, прокатные валки и т. д.

## Легирующие элементы в сплавах железа

Большинство легирующих элементов образует с железом твердые растворы замещения и внедрения, которые являются основной фазой всех технических сплавов железа, в которых в большем или меньшем количестве находятся частицы карбидных, карбонитридных или (и) нитридных фаз.

Легирующие элементы, образующие с железом твердые растворы, влияют на температуры фазовых превращений. При анализе этих превращений в разных сплавах надо учитывать сродство вводимых легирующих элементов к углероду. По степени этого сродства легирующие элементы разделяют на *карбидообразующие* и *некарбидообразующие*. К числу карбидообразующих относятся Mn, Cr, W, Mo, Ta, Nb, V, Zr, Ti, причем способность к образованию карбидов и устойчивость последних в указанном ряду возрастает слева направо. К числу некарбидообразующих относятся: Cu, Ni, Co, Si и Al.

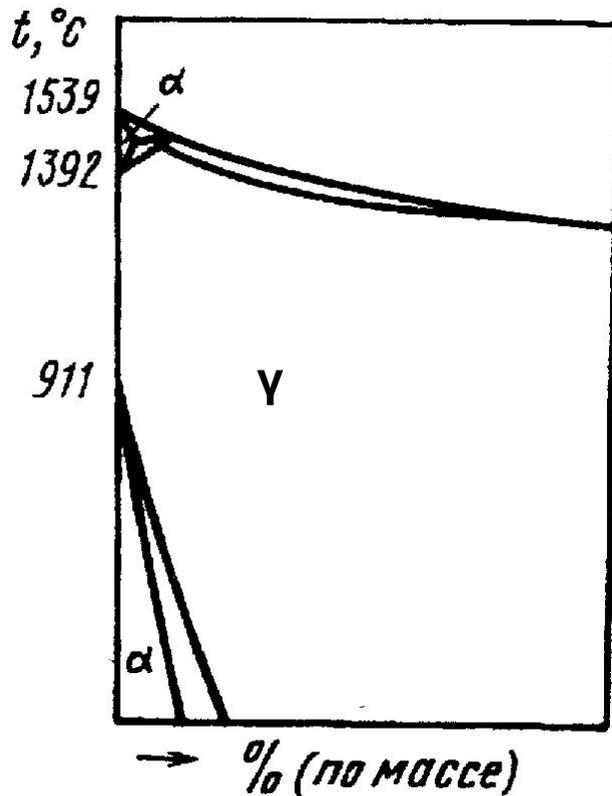


Диаграмма состояния сплавов с открытой  $\gamma$ -областью

Легирующие элементы по разному влияют на положение критических точек  $A_3$  и  $A_4$  и тем самым на протяженность области  $\gamma$ , и соответственно,  $\alpha$ -фазы. Легирующие элементы в зависимости от влияния на полиморфизм железа разделяют на два основных и на два промежуточных класса.

К 1 классу относятся элементы, повышающие температуру  $A_4$  и снижающие температуру  $A_3$ . При этом расширяется температурный интервал существования  $\gamma$ -фазы. Такую диаграмму называют *диаграммой с открытой  $\gamma$ -областью*. В этом случае при высоких концентрациях таких элементов полностью исключается  $\gamma \leftrightarrow \alpha$  превращение (примеры системы Fe – Ni, Fe – Co и Fe – Mn). В определенном интервале концентраций сплавы при всех температурах будут *аустенитными*.

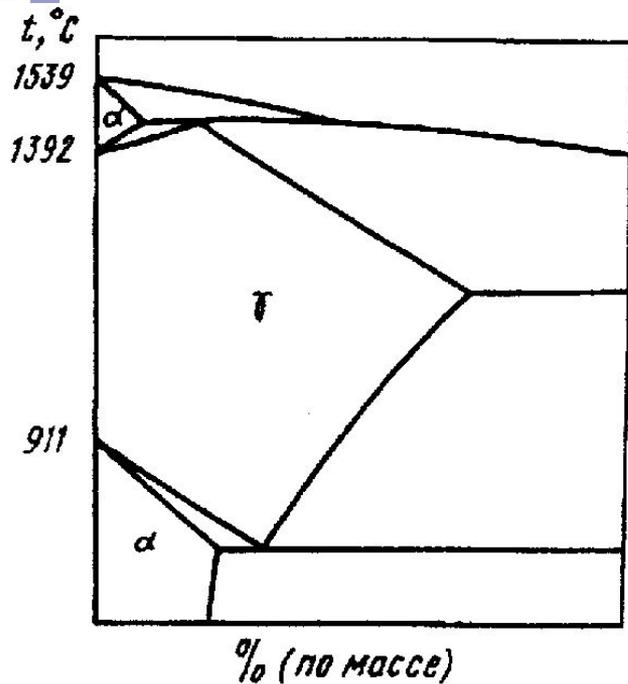


Диаграмма состояния сплавов с расширенной  $\gamma$ -областью

Повышение температуры критической точки  $A_4$  и снижение точки  $A_3$  наблюдается и в том случае, когда область  $\gamma$ -фазы ограничена присутствием другой фазы, например карбида  $Me_3C$  в сплаве Fe – C или нитрида в сплаве Fe – N. Такую диаграмму называют *диаграммой с расширенной  $\gamma$ -областью*. Она характерна для сплавов Fe – C; Fe – Ni; Fe – Cu и Fe – Zn.

**2 класс** легирующих элементов приводит к сужению  $\gamma$ -области (повышение температуры  $A_3$ , и снижение  $A_4$ ). Это изменение температур критических точек в сплавах железа, может привести даже к тому, что  $\gamma$ -область будет полностью замкнутой, а область  $\alpha$ -фазы сильно расширенной (примеры: системы Fe – Cr и Fe – V). При достаточно высоких содержаниях легирующих элементов существуют **ферритные сплавы**, которые не претерпевают полиморфных превращений при изменении температуры.

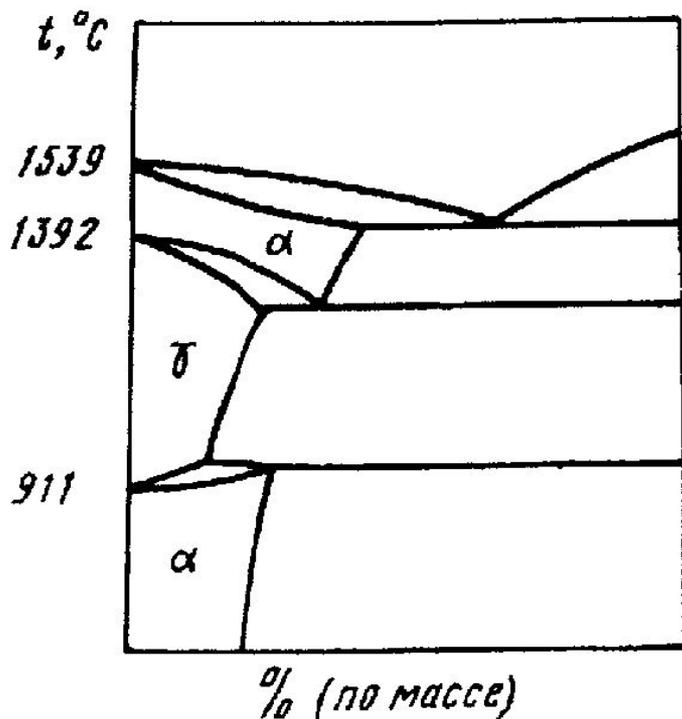
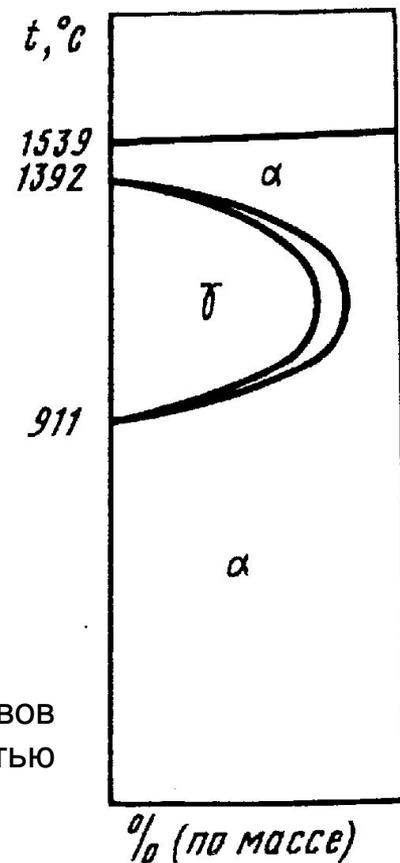


Диаграмма состояния сплавов с суженной  $\gamma$ -областью

Диаграмма состояния сплавов с замкнутой  $\gamma$ -областью



## Маркировка легированных сталей

Легированные конструкционные стали маркируют цифрами и буквами (например, 15Х, 40ХФА, 12ХН3А, 20Х2Н4А, 18ХГТ и т. д.).

*Двузначные цифры*, приводимые в начале марки, *указывают среднее содержание углерода в сотых долях процента*.

*Буквы* справа от цифры обозначают *легирующий элемент*:

А – азот, Б – ниобий, В – вольфрам, Г – марганец, Д – медь, Е – селен, К – кобальт, Н – никель, М – молибден, П – фосфор, Р – бор, С – кремний, Т – титан, Ф – ванадий, Х – хром, Ц – цирконий, Ч – РЗМ, Ю – алюминий.

*Цифры после букв* указывают *примерное содержание соответствующего легирующего элемента в целых процентах*; отсутствие цифры указывает, что оно составляет ~1...1,5% и менее. Основная масса легированных конструкционных сталей выплавляется качественными (не более 0,035% серы и фосфора, каждого).

Высококачественные стали содержат меньше вредных примесей (<0,025%S и <0,025%P), что обозначают буквой А, *помещенной в конце марки*.

## Конструкционные легированные стали

Основными легирующими элементами в этих сталях являются Cr, Ni, Si и Mn. Содержание углерода в этой группе сталей обычно не превышает 0,5...0,6%.

В зависимости от содержания легирующих элементов стали подразделяются:

*низколегированные* – до 2,5% легирующих элементов;

*среднелегированные* – 2,5...10% легирующих элементов;

*высоколегированные* – свыше 10% легирующих элементов.

*Низкоуглеродистые и низколегированные стали* в горячекатаном состоянии или после нормализации применяют для сварных конструкций, магистральных нефте- и газопроводов и реже для изготовления деталей для машиностроения (примеры: 19Г, 14Г2, 17ГС, 14ХГС, 15ХСНД). Они обычно не подвергаются термической обработке, имеют более высокое значение пределов прочности и текучести при сохранении хорошей пластичности, по сравнению с углеродистой сталью обыкновенного качества.

Эти стали подвергают *цементации*. После цементации, закалки и низкого отпуска поверхностный слой приобретает высокую твердость и износостойкость, а сердцевина сохраняет вязкость. Цементуемые стали используют для изготовления шестерен, втулок, и др. деталей, испытывающих при эксплуатации значительные динамические нагрузки. Цементации подвергают *хромистые, хромованадиевые, хромомарганцевые и хромоникелевые* стали (15Х, 20Х, 20ХФ, 18ХГТ, 20ХГНР, 12ХН4А, 18Х2Н4ВА).

Закалка и отпуск после цементации проводятся с целью устранения сетки цементита в поверхностном слое, которая вызывает хрупкость.



Стали, содержащие 0,5...0,7%С; 1,5...2,8%Si; 0,6...1,2%Mn; 0,2...1,2%Cr; 0,1...0,25%V; 0,8...1,2%W и 1,4...1,7%Ni используют для изготовления *пружин и рессор* (65Г, 50С2, 55С2А, 70С3А, 60С2ХФА, 60С2ВА).

Безуглеродистые ( $<0,03\%C$ ) высоколегированные стали называются *мартенситостареющими*. Они обладают высокой прочностью ( $\sigma_B$  до 2500 МПа). Представляют собой сплавы железа с Ni (8...20%), а часто и с Co. Для протекания процесса старения добавляют также Ti, V, Al, Nb, W, Mo. Упрочнение этих сталей достигается в результате получения мартенситной структуры после закалки и старения.

Наиболее широко применяется высокопрочная мартенситостареющая сталь Н18К9М5Т, содержащая  $<0,03\%C$ ;  $\sim 18\%Ni$ ;  $\sim 9\%Co$ ;  $\sim 5\%Mo$ ;  $\sim 0,7\%Ti$ . Температура нагрева при закалке – 800...850°C, охлаждение на воздухе. После закалки сталь имеет в структуре *безуглеродистый мартенсит*, обладающий наряду с высокой прочностью, хорошей пластичностью и вязкостью. В закаленном состоянии сталь сравнительно легко обрабатывается давлением, резанием и хорошо сваривается.

После закалки проводят искусственное старение при 480...520°C. Прочность повышается, пластичность и вязкость снижаются. Механические свойства после старения:  $\sigma_B = 1900...2100$  МПа;  $\sigma_{0,2} = 1800...2000$  МПа;  $\delta = 8...12\%$ . Упрочнение этой стали связано с выделением при старении мартенсита интерметаллидных фаз типа  $Ni_3Ti$ ,  $NiTi$  и  $Fe_2Mo$ .

Мартенситостареющие стали используют для изготовления узлов и деталей конструкций, от которых требуется высокая удельная прочность в сочетании с большой эксплуатационной надежностью.

К сталям с особыми свойствами относятся *коррозионностойкие (нержавеющие), жаростойкие и жаропрочные.*

*Коррозией* называют разрушение металлов в результате химического или электрохимического взаимодействия их с внешней (коррозионной) средой. Электрохимическая коррозия возникает при действии на материалы кислот, щелочей, влаги или воды и представляет для деталей механизмов и конструкций наибольшую опасность.

Значительное увеличение коррозионной стойкости сталей достигается введением в ее состав *повышенного количества Cr*. Объясняется это тем, что при легировании стали хромом свыше 12,5% *величина электрохимического потенциала стали смещается в положительную сторону.* Это происходит вследствие образования тончайшей плотной пленки оксидов, которая защищает сталь от разрушения.

Кроме Cr, для увеличения стойкости против коррозии и улучшения качества стали добавляют и другие легирующие элементы (особенно Ni). Наилучшими коррозионными свойствами обладают *хромистые и хромоникелевые* стали (12X13, 20X13, 12X18H9, 20X13H4Г9).

*Хромистые нержавеющие стали* обычно содержат 0,08...0,45%С и 12,5...18% Cr. Стали с 13% Cr обладают лучшей стойкостью против коррозии только при условии, что все содержание Cr в стали приходится на долю твердого раствора. В этом случае он образует на поверхности изделия плотную защитную оксидную пленку типа  $Cr_2O_3$ . Увеличение содержания углерода, приводящее к образованию карбидов, создает двухфазную структуру, уменьшает количество Cr в твердом растворе и поэтому понижает коррозионную стойкость стали.

Стали 12X13 и 20X13 применяют для клапанов гидравлических насосов, лопаток гидротурбин, предметов домашнего обихода и т.д. Стали 30X13 и 40X13 используются для карбюраторных игл, пружин, хирургических инструментов и т.д. Эти стали подвергают закалке и низкому отпуску.

Более высокой коррозионной стойкостью обладают *низкоуглеродистые высокохромистые стали* 12X17, 15X25Т и 15X28. Они относятся к *ферритному классу*, т.е. высокая концентрация Cr повышает критическую точку  $A_3$  и понижает  $A_4$ , расширяя область  $\alpha$ -Fe. Эти стали используют без термической обработки, т.к. при нагреве и охлаждении никаких изменений в структуре не происходит и она представляет собой твердый раствор легирующих элементов в феррите. Используют эти стали для оборудования заводов пищевой и легкой промышленности.



Хромоникелевые нержавеющие стали имеют в своем составе до 0,3%С; от 18 до 25% Cr и от 8 до 20% Ni.

Все хромоникелевые стали благодаря высокому содержанию никеля относятся к аустенитному классу. Они обладают более высокими механическими и химическими свойствами.

Аустенитные стали имеют очень низкий порог хладноломкости и поэтому с успехом используются для конструкций, работающих при температурах до – 200°С (сталь 07Х21Г7АН5).

Для получения особо коррозионностойких материалов аустенитные стали дополнительно легируют медью или медью с молибденом, например, сталь 06Х23Н28МДТ.

## Инструментальные стали

*Инструментальными сталями* называют углеродистые и легированные стали, обладающие высокой твердостью (HRC 60...65), прочностью и износостойкостью и применяемые для изготовления различного инструмента. Структура после закалки и низкого отпуска – *мартенсит + избыточные карбиды*.

Одной из главных характеристик инструментальных сталей является *теплостойкость* (или *красностойкость*), т. е. устойчивость против отпуска при нагреве инструмента в процессе работы. Инструментальные стали подразделяют на три группы:

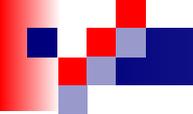
- 1) не обладающие теплостойкостью (углеродистые и легированные стали, содержащие до 3...5%Cr),
- 2) полутеплостойкие (содержащие свыше 0,6...0,7%С и 3...18%Cr) и
- 3) теплостойкие (высоколегированные стали, содержащие Cr, W, Mo, V, Co, ледебуритного класса), получившие название *быстрорежущих*.

## *Маркировка инструментальных сталей.*

Углеродистые инструментальные стали маркируют буквой У (углеродистые); следующая за ней цифра (У7, У8, У10 и т. д.) показывает среднее содержание углерода *в десятых долях процента*. Буква А в конце (У10А) указывает, что сталь *высококачественная*.

Легированные инструментальные стали Х, 9Х, 9ХС, 6ХВГ и т. д. маркируют цифрой, показывающей среднее содержание углерода *в десятых долях процента*, если его содержание <1%. Если *содержание углерода ~1%*, то *цифра* чаще *отсутствует*. Буквы означают легирующие элементы, а следующие за ними цифры – содержание (*в целых процентах*) соответствующего легирующего элемента.

Быстрорежущие стали маркируют буквой Р. Следующая за ней цифра указывает среднее содержание главного легирующего элемента быстрорежущей стали – *вольфрама (в процентах)*. Среднее содержание ванадия в стали обозначают цифрой, проставляемой за буквой Ф, кобальта – цифрой за буквой К и т. д. Среднее содержание хрома в большинстве быстрорежущих сталей составляет 4% и поэтому в обозначении марки стали не указывается.



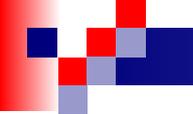
*Стали для режущего инструмента.* Они после закалки и низкого отпуска должны иметь высокую твердость по режущей кромке (HRC 60...65), высокую износостойкость, достаточную прочность при некоторой вязкости, и теплостойкость, когда резание выполняется с повышенной скоростью.

*Углеродистые инструментальные стали* У8 (У8А), У10 (У10А), У11 (У11А), У12 (У12А) и У13 (У13А) вследствие малой устойчивости переохлажденного аустенита имеют небольшую прокаливаемость, поэтому их применяют для инструментов небольших размеров. Для режущего инструмента (фрезы, зенкеры, сверла и др.) применяют заэвтектоидные стали (У10 и У11, У12 и У13), у которых после термической обработки структура – мартенсит и карбиды. Деревообрабатывающий инструмент, зубила, кернеры, топоры и т. п. изготавливают из сталей У7 и У8, имеющих после термической обработки трооститную структуру.

Углеродистые стали в отожженном состоянии имеют структуру зернистого перлита, низкую твердость и хорошо обрабатываются резанием. Температура закалки У8...У12 – 760...810°С (для получения мартенситной структуры). Отпуск – 150...170°С (HRC 62...63).

Сталь У7 – закалка с температуры  $A_{c3} + 30...50^{\circ}\text{C}$ , отпуск – 275...325°С (HRC 48...58) или 400...500°С (HRC 44...48).

Углеродистые стали можно использовать в качестве режущего инструмента только для резания материалов с низкой твердостью и с малой скоростью, так как их твердость сильно снижается при нагреве выше 190...200°С.



*Легированные инструментальные стали* подобно углеродистым не обладают теплостойкостью и пригодны только для резания относительно мягких материалов с небольшой скоростью. Их используют для инструмента, подвергаемого в работе нагреву не свыше 200...250°C. Структура этих сталей: после отжига – зернистый перлит (легированный феррит и карбид  $Me_3C$ ) после закалки – мартенсит и карбиды  $Me_3C$ . Легированные стали по сравнению с углеродистыми обладают большей прокаливаемостью. Инструменты из этих сталей можно охлаждать при закалке в масле и в горячих средах (ступенчатая закалка), что уменьшает деформацию и коробление инструмента.

Марки: Низколегированные стали 11X (11XФ) и 13X.

Стали повышенной прокаливаемости X, 9XC и XBCГ.

Вольфрамовые стали В2Ф и XB4 имеют очень высокую твердость и применяются для пил (по металлу) и граверных инструментов. Сталь В2Ф содержит в структуре карбид VC.



**Быстрорежущие стали.** Они обладают высокой теплостойкостью (красностойкостью), сохраняют мартенситную структуру при нагреве до 600...620°C, поэтому применение их позволяет повысить скорость резания в 2...4 раза и стойкость инструмента в 10...30 раз по сравнению со сталями, не обладающими теплостойкостью.

Основными легирующими элементами быстрорежущих сталей, обеспечивающими их теплостойкость, являются в первую очередь вольфрам и молибден. Сильно повышают теплостойкость (до 645...650°C) и твердость после термической обработки (HRC 67...70) кобальт и ванадий.

Составы широко применяемых быстрорежущих сталей:

P18: C – 0,7...0,8; Cr – 3,8...4,4; W – 17,5...19; V – 1...1,4; Mo – 0,5...1

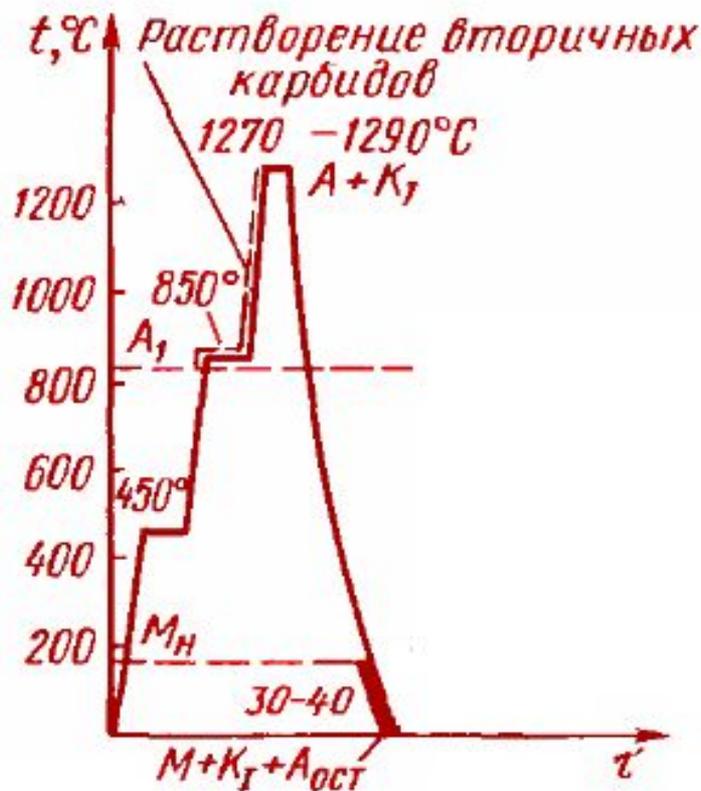
P6M5: C – 0,8...0,88; Cr – 3,8..4,4; W – 5,5...6,5; V – 1,7...2,1; Mo – 5...5,5

Наиболее широко используют сталь P6M5 с меньшим содержанием вольфрама. Стали P12 и P18 рекомендуется использовать при чистовом резании твердых сталей.



Быстрорежущие стали относятся к *карбидному (ледебуритному)* классу. Их фазовый состав в отожженном состоянии представляет собой легированный феррит и карбиды  $Me_6C$ ,  $Me_{23}C_6$ ,  $MeC$ ,  $Me_3C$ . Основным карбидом быстрорежущей стали является  $Me_6C$ , в котором также растворен ванадий. В феррите растворена большая часть хрома; почти весь вольфрам (молибден) и ванадий находятся в карбидах. Количество карбидной фазы в стали P18 достигает 25...30 и 22% в стали P6M5.

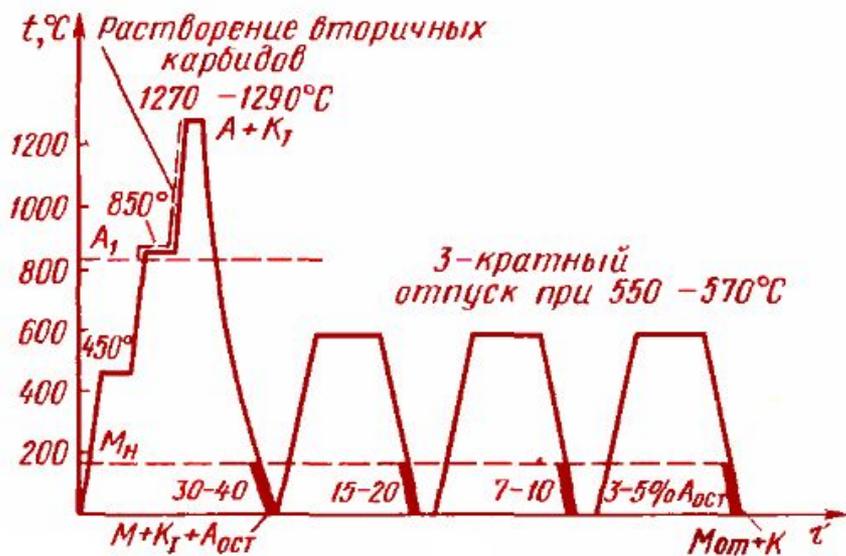
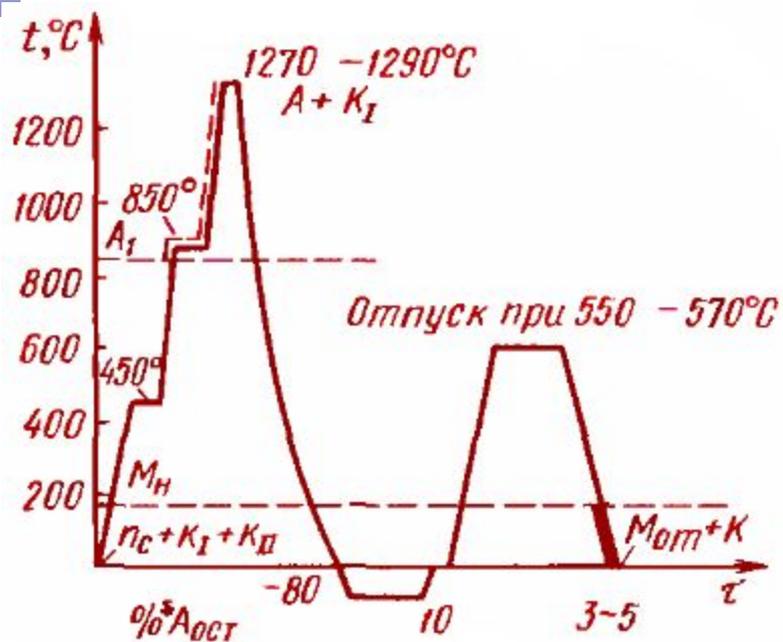
Для снижения твердости, улучшения обработки резанием и подготовки структуры стали к закалке послековки быстрорежущую сталь подвергают отжигу при 840...860°C (сталь P6M5 при 800...830°C).



Для придания стали теплостойкости инструмент подвергают закалке и 3-х кратному отпуску. Температура закалки стали Р18 – 1270...1290°C, Р12 – 1225...1245°C, Р6М5 – 1210...1230°C. Высокие температуры закалки необходимы для полного растворения вторичных карбидов и получения высоколегированного аустенита.

Во избежание образования трещин при нагреве применяют подогрев инструмента при 450°C и 800...850°C в течение 10...15 мин.

Структура после закалки представляет собой высоколегированный мартенсит с 0,3...0,4%С, остатки избыточных карбидов и остаточный аустенит. Обычно содержание остаточного аустенита в стали Р18 составляет 25...30%, а в стали Р6М5 28...34%.



После закалки проводится отпуск при  $550...570^{\circ}\text{C}$  для превращения остаточного аустенита в мартенсит и дисперсионного твердения за счет частичного распада мартенсита и выделения дисперсных карбидов.

В процессе однократного отпуска только часть остаточного аустенита превращается в мартенсит. Чтобы весь остаточный аустенит перешел в мартенсит и произошел отпуск вновь образовавшегося мартенсита,

применяют 3-кратный отпуск. Продолжительность каждого отпуска  $45...60$  мин. Многократный отпуск повышает прочность быстрорежущей стали и снимает напряжения, созданные закалкой и превращением остаточного аустенита в мартенсит. Твердость стали после закалки составляет  $62...63$ , и после отпуска HRC  $63...65$ .



*Переход к следующей теме*