



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

Материаловедение

Лекция 2: Общая классификация сталей и сплавов

Семенова Елена
Инженер-проектировщик 1 категории

17.10.2024

Металлы и сплавы. Общая классификация



Сталь – содержание углерода до 2,14%. **Чугун** – содержание углерода 2,14% ÷ 6,67%

Сталь выплавляется из чугуна и приобретает необходимые свойства за счет очистки от вредных примесей, доведения до необходимого уровня содержания углерода и введением ряда элементов для достижения необходимых свойств.

Сплавы – материалы, полученные из двух и более веществ путем их нагревания выше температуры плавления.

Ферросплавы – сплавы железа с кремнием, хромом, марганцем, никелем и некоторыми другими элементами

К **цветным металлам** относятся все остальные металлы и их сплавы

Классификация сталей



Для выплавки углеродистых сталей применяют все типы печей, для высоколегированных – электропечи

Легированные стали производят только спокойными; углеродистые – спокойными, полуспокойными и кипящими

Стали. Классификационные признаки.

Раскисление



Раскисление – **процесс удаления** из стального расплава растворенного в нем **кислорода**, ухудшающего механические свойства будущего металла, путем добавления различных добавок: кальций, алюминий, кремний, марганец и комбинации этих веществ в разных пропорциях.

Кипящие стали (кп) раскисляют в печи или ковше не полностью: только марганцем. Перед разливкой в них содержится повышенное количество кислорода, который при затвердевании частично взаимодействуя с углеродом и удаляется в виде CO_2 . Выделение CO создает впечатление кипения стали, с чем и связано ее название. Кипящая сталь дешевле спокойной, но слитки получаются неоднородными, что ограничивает ее применение. Такая сталь достаточно хрупкая, плохо сваривается, восприимчива к коррозии.

Спокойные стали (сп) раскисляют марганцем, кремнием, и алюминием, такие стали содержат мало кислорода и затвердевают спокойно без газовыделения. Такой сплав обладает плотной однородной структурой, что гарантирует получение высоких механических показателей. Он хорошо сваривается, имеет хорошую сопротивляемость к ударным, вибрационным и прочим подобным нагрузкам. Сталь спокойного типа устойчива к хрупкому разрушению.

Полуспокойные стали (пс) занимают промежуточное место по качеству. Стали являются полураскисленными, кристаллизуются без кипения, выделяя при этом достаточное количество газа и имеют меньшее количество пузырьков, чем кипящие стали. Поэтому, полуспокойная сталь имеет средние показатели качества (максимально приближенные к спокойной), и иногда заменяет спокойную. Показатели качества полуспокойной стали ближе к спокойной.

Стали. Классификационные признаки.

Структура



Классификация по структуре условна и относится к случаю охлаждения на воздухе образцов небольших размеров. Меняя условия охлаждения, можно получать разные структуры.

После охлаждения на воздухе различают:

- ферритные (отсутствует превращение $\Phi \rightarrow A$, структура Φ при всех режимах ТО) – содержат мало углерода, свыше 13% Cr, применяются как коррозионностойкие или инструментальные.
- перлитные стали (структура после нормализации или отжига $\Phi + P$ или $P + \text{карбиды}$), относятся к низко- и среднелегированным сталям, обладают хорошей обрабатываемостью режущим инструментом
- мартенситные стали (A не распавшись превращается в M) относятся к среднелегированным сталям с повышенным содержанием углерода. Повышенная коррозионная стойкость, высокие механические свойства
- аустенитные стали (обладают A структурой при комнатной температуре) – легированы большим количеством (до 30%) легирующих элементов (никель, хром, марганец и др.). Содержание углерода колеблется в широких пределах карбидный (структура мартенсит и карбиды) – высокоуглеродистые, средне- и высоколегированные стали. В составе обязательно наличие хотя бы одного карбидообразующего элемента
- стали со смешанной структурой: аустенитно-ферритные, мартенситно-ферритные

В равновесном состоянии:

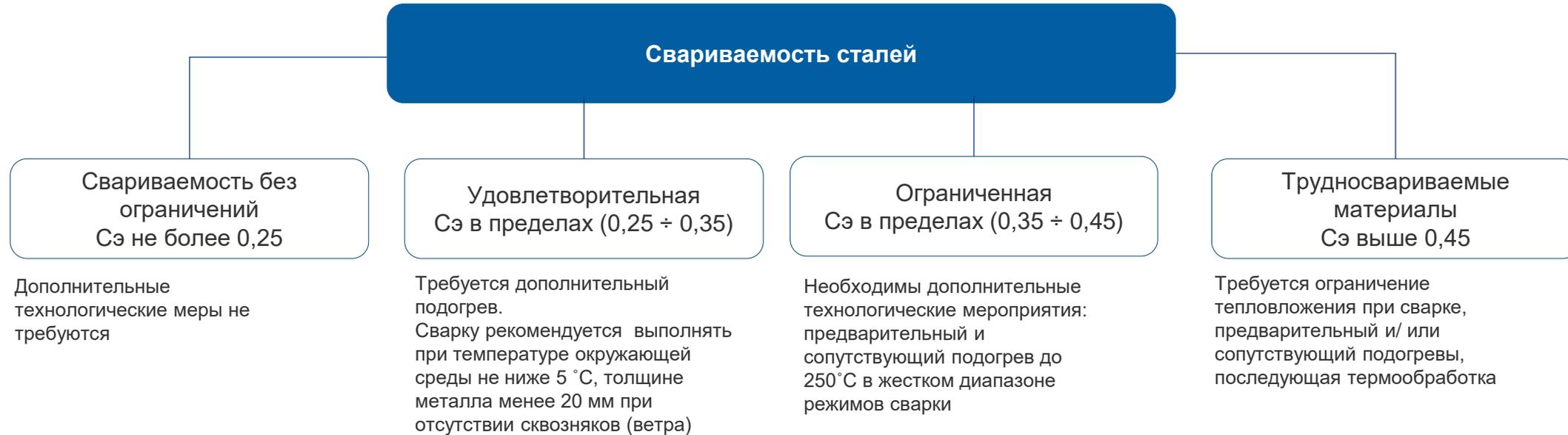
- доэвтектоидные (содержание углерода от 0,02% до 0,8%), структура – феррит+перлит;
- эвтектоидные (содержание углерода $\approx 0,8\%$), структура – перлит;
- заэвтектоидные (содержание углерода от 0,8% до 2,14%), структура – зерна перлита, окаймленные сеткой цементита.

Отсюда можно сделать вывод о том, что доэвтектоидные стали мягкие, заэвтектоидные твердые, но хрупкие, эвтектоидные стали имеют наиболее оптимальные свойства.



Зная структуру нетрудно отследить, что **в мягких сталях** при равновесной структуре должно быть явное преобладание феррита над перлитом и твердость, близкая к ферриту порядка (80 ÷ 130) НВ; **в средних по твердости сталях** количество феррита и перлита должно быть примерно равное и твердость порядка (130 ÷ 150) НВ, **а в твердых сталях** — явное преобладание перлита над ферритом и твердость более 150 НВ.

Стали. Классификационные признаки. Свариваемость



Свариваемость определяется содержанием углерода и легирующих элементов
Свариваемость стали определяется по значению углеродного эквивалента

$$[C]_э = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15},$$

Стали. Классификационные признаки.

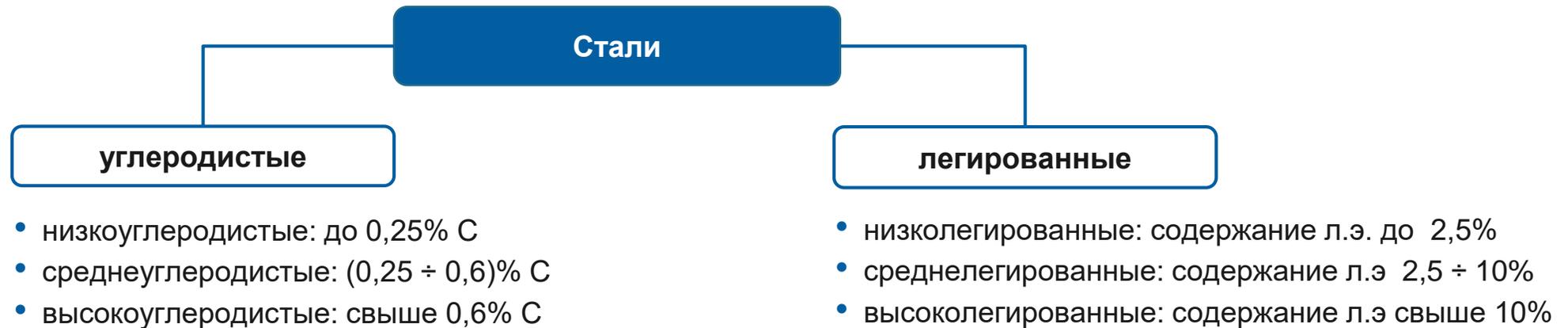
Химический состав



Один из основных является разделение сталей по химическому составу на *углеродистые* и *легированные*.

Входящие в состав сплавов элементы можно разделить на **сопутствующие примеси** и **легирующие элементы**. Исходя из этого все стали разделяются на углеродистые (технически чистые, без специально введенных добавок) и легированные.

Примеси попадают в сталь с чугуном, рудой, топливом, некачественных футеровки печи, ковша и форм. Примеси оказывают влияние на структуру, а, следовательно, и свойства сталей и сплавов.



Углеродистые стали. Классификация



Углеродистые стали не содержат специально введенных легирующих элементов. Свойства углеродистых сталей зависят от содержания основного элемента – углерода, а также от количества примесей

Углеродистые стали завершают кристаллизацию образованием аустенита. В их структуре нет эвтектики, благодаря чему они обладают **высокой пластичностью, особенно при нагреве, и хорошо деформируются**

Углеродистые стали классифицируют:

По структуре углеродистые стали разделяют на следующие группы:

- доэвтектоидные (содержание углерода от 0,02% до 0,8%), структура – феррит+перлит
- эвтектоидные (содержание углерода $\approx 0,8\%$), структура – перлит
- заэвтектоидные (содержание углерода от 0,8% до 2,14%), структура – зерна перлита, окаймленные сеткой цементита



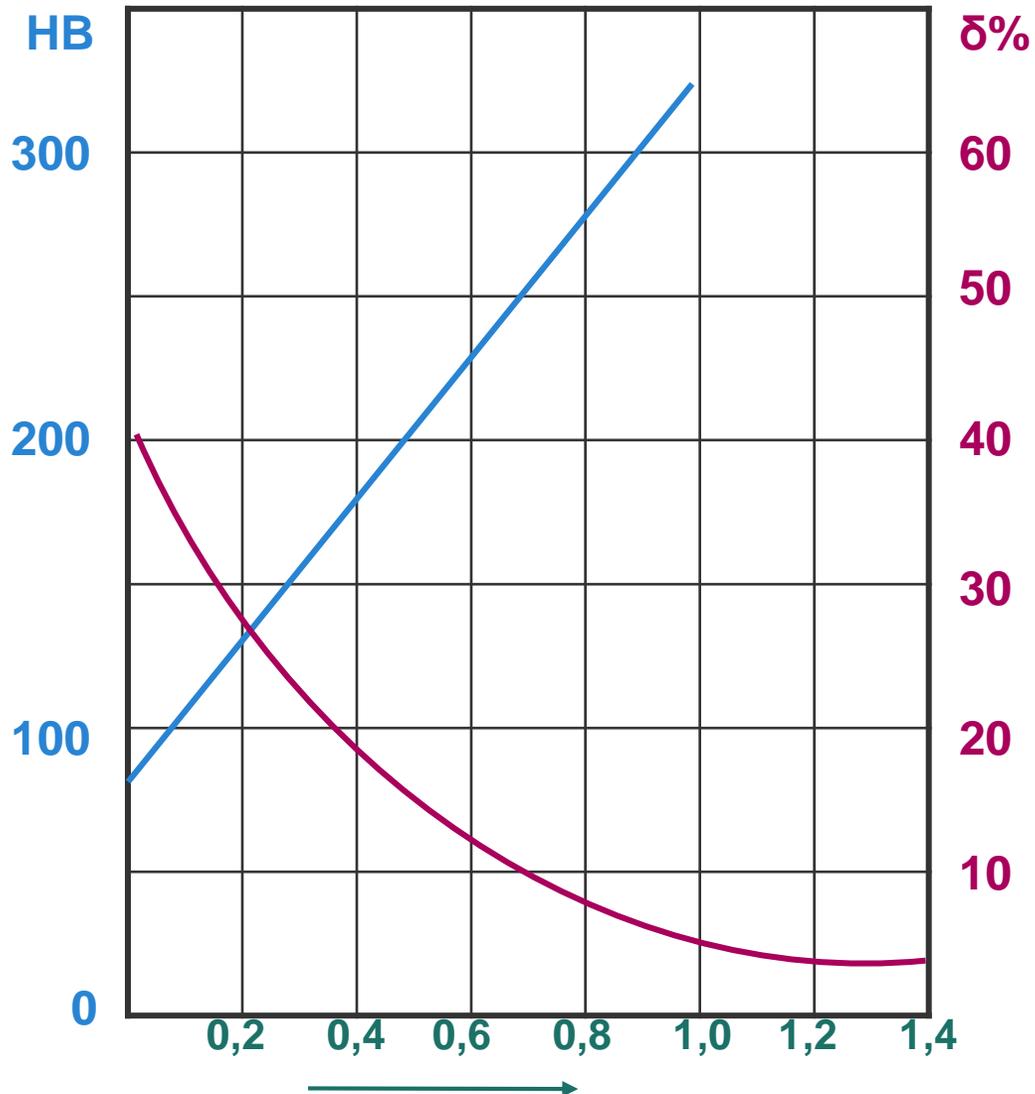
Доэвтектоидные стали мягкие, заэвтектоидные твердые, но хрупкие, эвтектоидные стали имеют наиболее оптимальные свойства

По степени раскисления углеродистые стали делятся на: кипящие, полуспокойные и спокойные

По качеству классифицируют в зависимости от содержания вредных примесей – серы и фосфора:

- обыкновенного качества ($S \leq 0,05$, $P \leq 0,04$)
- качественные стали (S , $P \leq 0,035$)
- высококачественные (S , $P \leq 0,025$)
- особо высококачественные ($S \leq 0,015$, $P \leq 0,025$)

Углеродистые стали. Влияние углерода

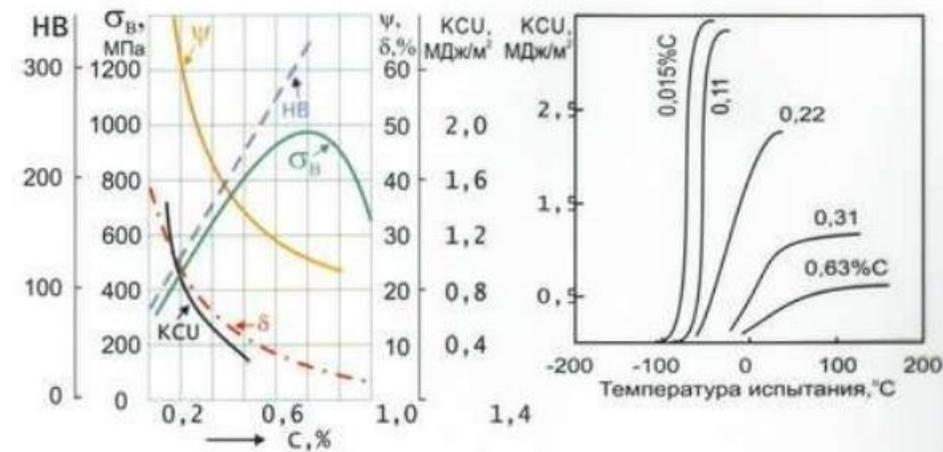


Изменение содержания углерода оказывает заметное влияние на свойства стали

С ростом содержания углерода увеличиваются твердость и прочность и уменьшаются вязкость и пластичность стали

Рост прочности происходит при содержании углерода в стали до (0,8 ÷ 1,0)%C. При увеличении содержания углерода более 1,0 % уменьшается не только пластичность, но и прочность стали. Это связано с образованием сетки хрупкого цементита вокруг перлитных зерен, который легко разрушается при нагружении

Влияние углерода на свойства стали



Углеродистые стали. Примеси



Примеси в углеродистых сталях, можно разделить на следующие группы:

- постоянные (сопутствующие): S, P, O₂, N, H
- скрытые примеси: O₂, N, H
- полезные: Mn, Si (полезные примеси, попадают в сталь при раскислении)
- случайные (из шихты): Cr, Ni, Cu

Сера – попадает в сталь из руды, чугуна и печных газов; вызывает явление **красноломкости стали** (охрупчивание стали при температуре красного каления $\approx 800^{\circ}\text{C}$); облегчает обрабатываемость стали резанием (в автоматных сталях содержание серы до 0,3%)

Фосфор – попадает в сталь из руды, топлива и флюсов; вызывает **хладноломкость стали** (склонность к хрупкому разрушению при понижении температуры); облегчает обрабатываемость стали резанием (в автоматных сталях содержание фосфора до 0,15%)

Газы – содержание в стали зависит от способа производства; при большом количестве **водорода** могут образоваться опасные флокены; **кислород** и **азот** образуют неметаллические включения (соответственно оксиды и нитриды)

Марганец, кремний – вводятся в сталь для раскисления, оказывают положительное влияния на свойства сталей. Марганец способен связывать серу в сульфид, снижая ее негативное влияние

Кремний – вводится в сталь для раскисления, структурно не обнаруживается

Углеродистые стали. Маркировка



Углеродистые стали маркируются различными способами. Классификация сталей по качеству лежит в основе маркировки углеродистых сталей.

Каждая группа имеет свою маркировку в соответствии с ГОСТ:

- ГОСТ 380-2005 Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки
- ГОСТ 1050-2013Metalлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей. Общие технические условия
- ГОСТ 1435-99 Прутки, полосы и мотки из инструментальной нелегированной стали. Общие технические условия.

По ГОСТ 380-2005 стали дополнительно делят на три группы: А, Б и В. Сталь группы А имеет гарантированные механические свойства после горячей прокатки и не подвергается термообработке, в марке стали группа А не указывается.

Группа А – с гарантируемыми механическими свойствами (сталь не подвергается горячей обработке у потребителя): маркируется буквами Ст и цифрами от 1 до 7, являющимися порядковым номером. Чем больше число, тем больше содержание углерода в стали, выше прочность и ниже пластичность.

Группа Б – с гарантируемым химическим составом (подвергается горячей обработке у потребителя): маркируется аналогично группе А, но с дополнительными буквами М, К, Б, что характеризует способ производства – мартеновский, конверторный, бессемеровский соответственно. Например, МСт3, БСт4, КСт5.

Группа В – с гарантируемыми механическими свойствами и химическим составом (подвергается сварке у потребителя) маркируется аналогично группе А, но с добавлением буквы В. Например, ВСт5

Марка стали	C, %	S, % не более	P, % не более
Ст 0	≤0,23	0,07	0,055
Ст1	0,06-0,12	0,045	0,055
Ст2	0,09-0,15	0,045	0,055
Ст3	0,14-0,22	0,045	0,055
Ст4	0,18-0,27	0,045	0,055
Ст5	0,28-0,37	0,045	0,055
Ст6	0,38-0,49	0,045	0,055
Ст7	0,50-0,62	0,045	0,055

Углеродистые стали. Маркировка



К качественным сталям по ГОСТ 1050-88 предъявляют более высокие требования относительно состава: пониженное содержание серы (менее 0,04 %) и фосфора (менее 0,035 %). Они маркируются **двузначными цифрами, обозначающими среднюю массовую долю углерода в стали в сотых долях** процента. Например, сталь 30 – углеродистая конструкционная качественная сталь со средней массовой долей углерода 0,3 %. Качественные стали с повышенными свойствами, используемые для производства котлов и сосудов высокого давления, обозначают добавлением буквы К в конце наименования стали: 15К, 18К, 22К.

Стали углеродистые инструментальные качественные и высококачественные по ГОСТ 1435–99 маркируются буквой **У**, что означает углеродистая сталь, и следующей за ней цифрой, показывающей среднюю массовую долю углерода в десятых долях процента. Например, сталь У10 – инструментальная углеродистая качественная сталь со средней массовой долей углерода 1 %. Если в конце марки стоит буква "А", это означает, что сталь высококачественная, т.е. содержит меньше вредных примесей (серы менее 0,018 % и фосфора менее 0,025 %).

- **низкоуглеродистые стали** марок Ст05, стали 15, 20. Стали этой группы малопрочные, но высокопластичные. Хорошо штампуются и свариваются. Применяют как в горячекатаном виде и после нормализации, так и с цементацией поверхности. Предназначены для деталей небольшого размера (кулачки, толкатели, малонагруженные шестерни и др.), от которых требуется твердая износостойкая поверхность и вязкая сердцевина
- **среднеуглеродистые стали** 30, 35, 40, 45 и 50 - улучшаемые стали. Получили наибольшее распространение благодаря хорошему сочетанию прочностных и пластических свойств, хорошей обрабатываемости резанием. Они более прочные, но менее пластичны
- **высокоуглеродистые стали** марок 60, 65, 70. Также относятся к улучшаемым. Стали этой группы обладают высокой прочностью, износостойкостью и упругостью, используются для изготовления деталей типа пружин. Прочность после улучшения (закалка + средний отпуск на троостит) для получения высокой прочности и упругости $\sigma_v > 800$ МПа

Углеродистые стали. Недостатки



Менее технологичны при термической обработке:

- высокая скорость охлаждения при закалке вызывает деформацию и коробление деталей
- для получения прочности, сравнимой с прочностью легированной стали следует подвергать отпуску при более низкой температуре, что ведет к сохранению закалочных напряжений, снижающие конструкционную прочность
- небольшая прокаливаемость (т.е. способность закаливаться на определенную глубину). Поэтому крупные детали изготавливают без термического упрочнения – в горячекатаном или нормализованном состоянии

Углеродистые стали обладают невысокой коррозионной стойкостью в большинстве природных и промышленных сред и требуют соответствующих мер по защите от коррозии. Примеси серы и азота выше допустимых концентраций могут ускорять коррозионный процесс

Легированные стали



Легированные стали – это стали, в состав которых помимо железа и углерода добавлены легирующие элементы такие как хром, никель, молибден, марганец, кремний, вольфрам, титан и др., с помощью легирования можно придать стали различные специальные свойства (коррозионную стойкость, жаростойкость, жаропрочность, износостойкость, магнитные и электрические свойства)

Легирующими называют элементы, специально вводимые в сталь для изменения ее строения и свойств

Концентрация некоторых легирующих элементов может быть очень малой. В количестве до 0,1 % вводят Nb, Ti, а содержание бора обычно не превышает 0,005 %. Если концентрация элемента составляет около 0,1 % и менее, легирование стали принято называть микролегированием

Для легирования применяются около 50 элементов из 104 элементов Периодической Системы. Основными легирующими элементами являются Cr, Ni, Mn, Si, W, Mo, V, Al, Cu, Ti, Nb, Zr, B. Часто сталь легируют не одним, а несколькими элементами (комплексное легирование), например Cr и Ni, получая хромоникелевую сталь, Cr и Mn - хромомарганцевую сталь, Cr, Ni, Mo, V - хромоникельмолибденованадиевую сталь

Используя диаграмму Fe-C можно заметить, что легирующие элементы оказывают влияние на области твердых растворов и температуры превращений в сплаве.

Находясь в стали, легирующие элементы входят в состав тех или иных фаз легирующие элементы способны:

- растворяться в феррите (Ф) или аустените (А);
- растворяться в цементите (Ц) или образовывать специальные карбиды

Стоит обратить отдельное внимание на карбидообразующие легирующие элементы.



Карбидообразующими легирующими элементами называют элементы, обладающие большим, чем железо, сродством к углероду. Чем устойчивее карбид, тем труднее он растворяется в аустените и выделяется при отпуске. Карбиды препятствуют росту аустенитного зерна, упрочняют сталь, предотвращают МКК.

Легирующие элементы в легированных сталях



Элемент	Влияние на свойства стали
Cr	Повышает твердость и прочность стали. При содержании до (1,0 ÷ 1,5) % способствует повышению пластических свойств. При большом содержании снижает пластические свойства, особенно, ударную вязкость. Увеличивает износостойкость. Несколько повышает жаропрочность. Сильно повышает электросопротивление и понижает теплопроводность. Повышает устойчивость против коррозии и окисления (при содержании ≥ 14 %). Увеличивает прокаливаемость. Способствует появлению отпускной хрупкости. Образуя нитриды (CrN и Cr_2N), является одной из обязательных присадок к сталям, подвергающимся азотированию
Mn	Повышает твердость и прочность стали. Особенно сильно повышает твердость в закаленном состоянии. В малоуглеродистых сталях, повышая прочность, не снижает пластических свойств при содержании до 2 %. В средне- и высокоуглеродистой стали снижает ударную вязкость. Уменьшает красноломкость при повышенном содержании серы. Увеличивает износоустойчивость особенно при высоком содержании. Повышает электросопротивление и уменьшает теплопроводность. При содержании в количестве, достаточном для получения гомогенной аустенитной структуры, повышает коррозионную стойкость. Увеличивает прокаливаемость. Увеличивает склонность к отпускной хрупкости.
Ni	Прекрасный легирующий элемент, но очень дорогой. Увеличивает прочность, вязкость и твердость, но не снижает пластичности, сильно повышает прокаливаемость и коррозионную стойкость. В сочетании с хромом повышает прочность и пластические свойства конструкционных сталей. Снижает теплопроводность. Повышает сопротивление коррозии на воздухе, в морской воде и некоторых кислотах. Способствует появлению отпускной хрупкости.
Si	Активно раскисляет. При содержании выше 0,8 % повышает прочность и твердость стали и уменьшает вязкость (особенно при содержании более 2,5 %). Понижает теплопроводность и значительно повышает электросопротивление. Вследствие большой магнитной проницаемости и высокого электросопротивления значительно уменьшаются потери на токи Фуко и ватные потери.
W	Несколько повышает прочность и снижает пластичность. Сильно уменьшает теплопроводность и повышает коэрцитивную силу. Резко повышает красностойкость. Увеличивает прокаливаемость. Сильно замедляет процессы, происходящие при отпуске, препятствует смячению стали. Вызывает появление вторичной твердости. Уменьшает склонность к отпускной хрупкости.
V	После закалки с температур значительно превышающих A_{c3} увеличивает твердость и прочность. Особенно увеличивается отношение предела текучести к пределу прочности. Незначительно уменьшает вязкость стали. Повышает механические свойства при высоких температурах. Препятствует понижению твердости стали при отпуске. При температурах отпуска 550-600 °C отмечается эффект вторичной твердости. Образуя стойкие нитриды, значительно повышает твердость стали после азотизации.
Mo	Повышает прочность и твердость. Понижает пластические свойства. Очень эффективно влияет на сохранение механических свойств при высоких температурах (жаропрочность). Способствует повышению предела ползучести. Повышает красностойкость. Повышает химическую стойкость нержавеющей сталей против действия некоторых кислот и щелочей. Уменьшает теплопроводность. Увеличивает коэрцитивную силу и остаточный магнетизм. Увеличивает прокаливаемость. Уменьшает склонность стали к отпускной хрупкости.
Ti	В небольших количествах улучшает механические свойства стали. Способствует резкому повышению коэрцитивной силы. Повышает коррозионную стойкость нержавеющей сталей и предотвращает возникновение межкристаллитной коррозии. Повышает устойчивость жароупорных сталей против окисления при высоких температурах. Образуя стойкие нитриды, значительно повышает твердость после азотирования.
Co	В отожженном и нормализованном состоянии стали повышает прочность и твердость, уменьшает пластические свойства. Повышает красностойкость. Увеличивает магнитную индукцию, коэрцитивную силу и остаточную индукцию. Способствует обезуглероживанию. Уменьшает прокаливаемость.
Al	Активный раскислитель. Повышает электросопротивление, магнитную проницаемость и уменьшает коэрцитивную силу. Резко увеличивает устойчивость против окисления при высоких температурах. Способствует обезуглероживанию. Несколько увеличивает прокаливаемость стали. Образуя нитриды, является легирующим элементом в азотируемых сталях.

Легированные стали. Классификация



Легированные стали классифицируют **по структуре, по количеству легирующих элементов и по назначению**

По назначению подразделяют на:

- Конструкционные
- Инструментальные
- Со специальными свойствами

Стали обладающие каким-нибудь ярко выраженным свойством **для которых механические свойства**, как правило, **не имеют первостепенного значения**. Основным предъявляемым к этим сталям требованием является обеспечение определенного уровня физических свойств.

К ним можно отнести:

- коррозионностойкие стали (08X18H10T, 12X18H9TЛ)
- теплоустойчивые (25XM, 15X1M1Ф)
- жаростойкие (12X17, 15X5)
- жаропрочные (12X1MФ, 20X13, 12X18H9T)
- износостойкие (ШХ15, 15X5)
- криогенные (03X17H14M3, 10X17H13M2T)
- стали переходного класса

Легированные стали. Классификация



В зависимости от состава (системы легирования) легированные стали подразделяют:

- **хромистые**, содержанием хрома 13-17-25 % – (08X13, 20X13, 40X13, 12X17, 14X17H2, 15X25Г и др.);

При содержании хрома (25 ÷ 30) % и 0,1% углерода сталь является окалиностойкой – способной выдерживать длительные и высокие нагревы до 1100 °С в окислительной атмосфере

- **марганцовые**, содержание марганца более 1% (15Г, 20Г, 30Г и др.). Стали обладают высокой твёрдостью, сопротивлением износу
- **хромоникелевые** (37ХН3А), обладают высокими прочностью, твердостью и упругостью. Применяют для изготовления рессор и пружин
- **хромомарганцовистые** (20ХГ, 20ХГР, 40ХГР, 30ХГТ, 18ХГТ), применяют частично в целях экономии никеля, как заменитель хромоникелевой стали
- **хромованадиевые** (15ХФ, 50ХФА и др.). Содержание ванадия обычно колеблется от 0,15 до 0,25 %, содержание хрома – около 1 %. Обладают высокой прочностью, пластичностью, твердостью, упругостью. Применяемую для изготовления ответственных пружин, валов, шестерен. Пружины изготовленные из этой стали, сохраняют упругие свойства при нагреве до 380 °С
- **хромомолибденовые** (например, 30ХМА). Молибден придает стали способность сохранять прочность при нагреве. Сталь обладает высокой пластичностью, хорошей свариваемостью и теплоустойчивостью при температурах (400 ÷ 600) °С;
- **хромоникельвольфрамовые и хромоникельмолибденовые** (30ХНВА, 40ХНМА, 18Х2Н4ВА и др.), предназначенные для нагруженных деталей машины, зубчатых колес, коленчатых валов, высоконагруженных шатунов;
- **хромомарганцовокремнистые** (20ХГСА, 25ХГС и др.) разработаны незадолго до Великой Отечественной войны как низколегированная сталь повышенной прочности. Не содержащей дорогостоящих элементов (никеля, молибдена, ванадия, вольфрама и пр.), а легированной хромом, марганцем и кремнием. Сталь легко сваривается, после соответствующей термической обработки не уступает по свойствам хромомолибденовой стали.

Легированные стали со специальными свойствами. Нержавеющие стали



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

Рассмотрим **хромистые** и **хромоникелевые**.

Основное и принципиальное отличие этих групп состоит в том, что при охлаждении до комнатной температуры в них формируется различная структура: в хромистых сталях - структура с ОЦК решеткой – α -структура (феррит), стали этой группы ферромагнитны; в хромоникелевых – структура с ГЦК решеткой – γ -структура (аустенит), стали парамагнитны.

Хромистые стали – группа наиболее экономнолегированных нержавеющей сталей. Коррозионная стойкость обеспечивается только за счет хрома и его пассивации. Содержание хрома в сталях этой группы в пределах от 13% до 28 %. Могут быть мартенситного (20X13, 30X13), мартенситно-ферритного (12X13) и ферритного (08X13, 12X17) классов

Для хромистых сталей, содержащих 17, 25, 28 % хрома характерна большая склонность к МКК главным образом в зонах сварных соединений или на основном металле после высокотемпературного нагрева (около 1000 °С) и быстрого последующего охлаждения. Наибольшая стойкость к общей коррозии и против МКК достигается после повторного отжига при (760 ÷ 780) °С, который пригоден для малогабаритных изделий

Для обеспечения всех положительных свойств в хромистых сталях должна быть обеспечена чистота по примесным элементам. Одной из причин подобного положения является повышенная чувствительность высокохромистых ферритных сталей к хладноломкости, которая усугубляет их склонность к росту зерна при кратковременных нагревах в диапазоне (850 ÷ 900) °С. Вредными являются углерод, азот, фосфор. Также при эксплуатации и термообработке высокохромистых ферритных сталей необходимо помнить о выпадении σ -фазы и «475-градусной» хрупкости

Легированные стали со специальными свойствами. Нержавеющие стали



Хромоникелевые стали. К этой группе сталей относятся самые распространенные и используемые в атомной энергетике стали аустенитного класса 18-8. Которые в свою очередь разделяются по содержания углерода, стабилизированные (титаном и/или ниобием) и нестабилизированные

Также хромоникелевые стали делят на следующие подгруппы:

- хромоникелевые аустенитные стали с малым содержанием углерода – нестабилизированные титаном и ниобием;
- хромоникелевые аустенитные стали с средним и высоким содержанием углерода – стабилизированные титаном и ниобием
- хромоникелевые кислотостойкие аустенитные стали с присадкой молибдена и меди;
- хромоникелевые окалиностойкие стали с высоким содержанием хрома и никеля

Большинство хромоникелевых сталей проявляет склонность к МКК, которая в первую очередь определяется содержанием углерода. Установлено, что необходимая степень стойкости стали против МКК обеспечивается в интервале (0,021 ÷ 0,054) % С и обычно на практике ее принимают равной 0,03%С. Необходимо учитывать, что снижение углерода до уровня 0,012 % и 0,006 % не обеспечивает полной стойкости сталей типа 18-10 к МКК в интервале (500 ÷ 600) С, то представляет опасность при длительной эксплуатации в данном интервале температур

Также к недостаткам хромоникелевых сталей следует отнести, характерную для пассивирующихся металлов, **подверженность точечной и щелевой коррозии в растворах, содержащих ионы хлора и окислитель**. Добавление молибдена повышает стойкость к этим видам коррозии.

Термическая обработка хромоникелевых сталей аустенитного класса сравнительно проста и заключается в закалке в воде с (1050 ÷ 1100) ° С. Нагрев до этих температур вызывает растворение карбидов хрома, а за счет относительно быстрого охлаждения фиксируется аустенитная структура

Легированные стали со специальными свойствами. Нержавеющие



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

Легированные нержавеющие стали – стали с минимальной массовой долей хрома 10,5 % и максимальной массовой долей углерода 1,2 %. Классификация, свойства установлены ГОСТ 5632



- У ограниченного количества легированных нержавеющих сталей допускается минимальная массовая доля хрома 7,5%
- Коррозионная стойкость может быть повышена термической обработкой и полировкой поверхности

Наиболее распространенные отечественные и импортные марки нержавеющих сталей приведены в таблице

*	Обозначение			Содержание легирующих элементов, %						
	EN	AISI	ГОСТ	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Ti
C1	1.4021	420	20X13	0,20	1,5	1,0	12,0 ÷ 14,0	-	-	-
F1	1.4016	430	12X17	0,08	1,0	1,0	16,0 ÷ 18,0	-	-	-
A2	1.4301	304	12X18H9	0,07	2,0	0,75	18,0 ÷ 19,0	8,0 ÷ 10,0	-	-
	1.4948	304H	08X18H10	0,08	2,0	0,75	18,0 ÷ 20,0	8,0 ÷ 10,5	-	-
A3	1.4306	304L	03X18H11	0,03	2,0	1,0	18,0 ÷ 20,0	10,0 ÷ 12,0	-	-
	1.4541	321	08X18H10T	0,08	2,0	1,0	17,0 ÷ 19,0	9,0 ÷ 12,0	-	5×C-0,7
A4	1.4401	316	03X17H14M2	0,08	2,0	1,0	16,0 ÷ 18,0	10,0 ÷ 14,0	2,0 ÷ 2,5	-
	1.4435	316S	03X17H14M3	0,08	2,0	1,0	16,0 ÷ 18,0	12,0 ÷ 14,0	2,5 ÷ 3,0	-
	1.4404	316L	03X17H14M3	0,03	2,0	1,0	17,0 ÷ 19,0	10,0 ÷ 14,0	2,0 ÷ 3,0	-
A5	1.4571	316Ti	08X17H13M2T	0,08	2,0	0,75	16,0 ÷ 18,0	11,0 ÷ 12,5	2,0 ÷ 3,0	5×C-0,8
	1.4845	310S	20X23H18	0,08	2,0	0,75	24,0 ÷ 26,0	19,0 ÷ 21,0	-	-

* A1, A2, A3, A4, A5 – стали аустенитного класса;

C1 – стали мартенситного класса;

F1 – ферритного класса

Примечания:

Марки импортных коррозионностойких нержавеющих сталей – это стали серии 300 и 400.

Наиболее применимы марки серии «300»: это 301, 303, 304, 316, 317, 321, 314 (по возрастанию содержания легирующих добавок). Стали 316, 317, 321, 347 содержат молибден.

Марки могут иметь добавочные индексы: L или LN. L имеет низкое содержание углерода (такие стали будут более пластичны); NL – это разновидность с меньшим содержанием азота.

По ГОСТ 5632-72 стали подразделяют на следующие структурные классы (разделение условно и предполагает проведение одной ТО: закалка с T свыше 900 °C):

мартенситный – стали с основной структурой мартенсита и содержащие при комнатной температуре не более 10 % остаточного аустенита и феррита (07X16H4Б, 15X11MФ, 20X13, 20X17H2);

мартенситно-ферритный – стали, содержащие в структуре кроме мартенсита не менее 10 % феррита (12X13, 14X17H2);

ферритный – однофазные стали со структурой феррита, т. е. не претерпевающие $\alpha \rightarrow \gamma$ превращения при высокотемпературном нагреве и охлаждении. Они отличаются более высоким соотношением феррито- и аустенитообразующих элементов по сравнению с мартенситными и мартенситно-ферритными сталями (12X17, 08X13);

аустенитно-мартенситный – стали, имеющие после охлаждения на воздухе из γ -области преимущественно аустенитную структуру с некоторым (обычно не более 20 %) количеством мартенсита, причем соотношение этих структурных составляющих достаточно легко изменяется в широких пределах при термической и механической обработке вследствие недостаточной стабильности аустенита (03X14H7B, 07X16H6);

аустенитно-ферритный – стали, имеющие при комнатной температуре структуру аустенита с содержанием феррита 40-60 % (03X22H5AM3, 03X22H6M2);

аустенитный – стали, имеющие после закалки от высоких (1000 ÷ 1100 °C) температур структуру аустенита (03X17H14M3, 03X18H10T, 03X18H11, 08X18H10, 08X18H10T, 08X18H12T)

Легированные стали со специальными свойствами. Нержавеющие стали



Мартенситные стали – безникелевые низкохромистые стали с основной структурой мартенсита и содержащие при комнатной температуре не более 10 % остаточного аустенита и феррита. Практически не содержат никаких других элементов кроме хрома. Стали данной группы упрочняются закалкой (приобретают высокую твердость) как обычные стали. Содержат (12 ÷ 16) % Cr; (0,1 ÷ 0,5) % C, иногда до 1 %. Обладают высокими механическими свойствами.

Мартенситные стали обладают достаточно высокой стойкостью против равномерной коррозии в атмосферных условиях (кроме морской атмосферы), слабых растворах кислот и солей при комнатной температуре и других слабоагрессивных средах. Из-за малого содержания хрома склонны к МКК. К данному классу сталей относятся: 20X13, 30X13, ASI 403, ASI 410, ASI 420M ASI 431.

Ферритные стали – безникелевые высокохромистые стали, имеющие структуру феррита (без $\alpha \rightarrow \gamma$ превращений). Содержат (16 ÷ 30) % Cr, содержание углерода должно быть очень низким для менее богатых хромом сталей. Их структура стабильна при нагревании и при охлаждении они не могут закаливаться. Склонны к росту зерна при высоких температурах и к хрупкости, относительно не высокие механические свойства.

Удовлетворительная коррозионная стойкость (выше мартенситных). По стойкости против коррозионного растрескивания ферритные стали также существенно превосходят аустенитные стали типа 08X18H10T. Стойкость против питтинговой коррозии стали ферритного класса приобретают при концентрации Cr > 18 % и дополнительном легировании молибденом. Стойки к радиационному распуханию.

Стали ферритного класса являются наиболее экономнолегированными, но широкое использование их не всегда возможно из-за следующих особенностей:

- **повышенной склонности к росту зерна** при нагреве из-за отсутствия полиморфных превращений. При температуре нагрева (850 ÷ 900) °C в ферритных сталях начинается активный рост зерна, который сопровождается повышением температуры перехода в хрупкое состояние и увеличением склонности к межкристаллитной коррозии. Полученное в результате технологических операций крупное зерно невозможно устранить термической обработкой. Привести ферритную сталь из крупнозернистого состояния в мелкозернистое возможно только с помощью горячей пластической деформации с температурой конца деформации (700 ÷ 750) °C и последующей стандартной термической обработкой.
- **низкой хладостойкости сталей и их сварных соединений** (до минус 20 °C);
- **склонность к МКК** проявляется при нагреве свыше (900 ÷ 1000) °C и быстрого охлаждения. Углерод и азот в ферритных сталях является причиной возникновения МКК.
- **ограниченная способность к формоизменению** при холодной пластической деформации;
- «475-градусная хрупкость» и выделение хрупкой σ -фазы. Оба этих процесса приводят к повышению прочности и твердости, но значительной потере пластичности и вязкости.

Легированные стали со специальными свойствами. Нержавеющие стали



Аустенитно-мартенситные стали – стали, имеющие структуру аустенита и мартенсита, количество которых можно изменять в широких пределах при термической и механической обработке вследствие недостаточной стабильности аустенита. Применяются в тех случаях, когда наряду с высокой коррозионной стойкостью требуется повышенная прочность. Марки: 07X16H6, 03X14H7B, X15H9Ю, X17H7Ю.

Мартенситно-ферритные – стали, содержащие в структуре кроме мартенсита не менее 10 % феррита. Механические и физические свойства этих сталей определяются количеством аустенита, перешедшего в мартенсит, и дополнительным процессам карбидного и интерметаллидного упрочнения. Высокие прочностные свойства стали переходного класса достигаются после комплексной термической обработки, состоящей из закалки или нормализации при температурах (925 ÷ 1050) °С, обработки холодом в диапазоне от минус 50 °С до минус 70 °С или высокого отпуска при (745 ÷ 775) °С и старения при (350 ÷ 500) °С с охлаждением на воздухе. В зарубежных источниках данный класс сталей называют полуаустенитными, или дисперсионно-твердеющими.



Однофазные стали обладают недостатками: у аустенитных сталей низкая прочность, низкое сопротивление коррозионному растрескиванию; у ферритных – низкая прочность, плохая свариваемость при больших толщинах, низкотемпературная хрупкость. Кроме того, высокое содержание никеля в аустенитных сталях приводит к их удорожанию.

При увеличении содержания хрома свыше 20 % в аустенитных хромоникелевых сталях (содержание никеля от (6,5 ÷ 8) %, дальнейшее увеличение содержания никеля препятствует образованию феррита), вместо чисто аустенитной структуры наблюдается смешанная – **аустенитно-ферритная**. Такие коррозионностойкие стали, имеющие мелкозернистую смешанную микроструктуру чередующихся зерен аустенита и феррита, называют **«дуплексными»**.

Наличие двухфазной структуры придает сталям аустенитно-ферритного класса свойства, которые характерны в отдельности для аустенитных и ферритных сталей. В то же время стали данного класса обладают свойствами, которые определяют самостоятельные области их применения.

Легированные стали со специальными свойствами. Жаропрочные стали



Жаропрочные стали и сплавы – стали и сплавы, работающие в нагруженном состоянии при высоких температурах в течение определенного времени и обладающие при этом достаточной жаростойкостью.

Жаропрочные стали и сплавы в своем составе обязательно содержат **никель**, который обеспечивает существенное увеличение предела длительной коррозионной прочности при незначительном увеличении предела текучести и временного сопротивления, и **марганец**. Они могут дополнительно легироваться молибденом, вольфрамом, ниобием, титаном, бором и др.

Рабочие температуры современных жаропрочных сплавов составляют примерно (45 ÷ 80) % от температуры плавления. Эти стали классифицируют по температуре эксплуатации:

- при (400 ÷ 550) °С – 15ХМ, 12Х1МФ, 25Х2М1Ф, 20Х3МВФ
- при (500 ÷ 600) °С – 15Х5М, 40ХЮС2М, 20Х13
- при (600 ÷ 650) °С – 12Х18Н9Т, 45Х14Н14В2М, ЮХЦН23Т3МР, ХН60Ю, ХН70Ю, ХН77ТЮР, ХН56ВМКЮ, ХН62МВКЮ

Легированные стали со специальными свойствами. Жаростойкие стали



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

Жаростойкие (окалиностойкие) стали и сплавы – стали и сплавы, обладающие стойкостью против химического разрушения поверхности в газовых средах при температурах выше 550 °С, работающие в ненагруженном или слабонагруженном состоянии.

Жаростойкие (окалиностойкие) стали обладают стойкостью против химического разрушения поверхности в газовых средах, в том числе серосодержащих, при температурах в диапазоне от 550 °С до 1200 °С в воздухе, печных газах (15Х5, 15Х6СМ, 40Х9С2, 30Х13Н7С2, 12Х17, 15Х28), окислительных и науглероживающих средах (20Х20Н14С2, 20Х23Н18) и работают в ненагруженном или слабонагруженном состоянии, так как могут проявлять ползучесть при приложении больших нагрузок.

Жаростойкие стали и сплавы получают на базе системы легирования (Fe + Cr + Ni) с небольшим количеством **кремния, алюминия**. Чем выше содержания хрома, тем больше жаростойкость. Например, обычная хромистая нержавеющая сталь, содержащая (12 ÷ 14) %Cr жаростойка приблизительно до температуры (750 ÷ 800) °С, хромистая сталь с содержанием хрома до 25% Cr – 1000 °С, а сталь с (30 ÷ 35) % – до 1100 °С.

Жаростойкость зависит от состава стали, а не от ее структуры, поэтому жаростойкость ферритных и аустенитных сталей при равном количестве хрома практически одинакова. Положительное влияние на повышение жаростойкости стали оказывают также такие добавки как Si и Al в количестве порядка нескольких процентов.

Легированные стали. Теплоустойчивые



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

Теплостойкими или теплоустойчивыми называют стали, работающие при температурах до $(500 \div 580) \text{ } ^\circ\text{C}$ в течение $10^4 \div 10^6$ часов.

Химический состав и свойства сталей регламентированы **ГОСТ 20072-74**. Оптимальные механические свойства и их стабильность в течение 100 000 ч (10 лет) обеспечиваются структурой перлита, получаемой после закалки (нормализации) с последующим высоким отпуском.

По степени легирования к теплоустойчивым сталям относятся низко- и среднелегированные перлитные стали, а также $5 \div 13 \%$ хромистые мартенситные и мартенситно-ферритные стали. Содержание углерода в этих сталях составляет $0,08 \div 0,17 \%$.

Теплоустойчивые стали должны обладать сопротивлением ползучести, длительной прочностью и жаростойкостью. Стабильность перечисленных свойств в указанном интервале температур достигается путем легирования сталей **хромом ($0,5 \div 2,0 \%$)**, **молибденом ($0,2 \div 1,0 \%$)**, **ванадием ($0,1 \div 0,3 \%$)**, добавками **W, Ti, Si** и соответствующей термообработкой (улучшением).

Теплостойкие стали используются для изготовления сварных узлов парогенераторов, трубопроводных систем энергетических и нефтехимических установок, атомных реакторов и т.д. Наиболее известными являются марки сталей 12ХМ, 12МХ, 15ХМ, 20ХМЛ (Траб = $450 \div 550 \text{ } ^\circ\text{C}$) и 12Х1МФ, 15Х1МФ, 20ХМФЛ, 12Х2МФЛ и др. (Траб = $550 \div 580 \text{ } ^\circ\text{C}$)

Легированные стали со специальными свойствами. Износостойкие



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

Износ – это процесс изменения размеров формы, массы или состояния поверхностного слоя под влиянием внешней среды.

Износ вызывается трением деталей машин или воздействием на поверхность рабочей среды потоков жидкостей, газов.

Износостойкими называют стали, которые способны выдерживать большие механические и сжимающие нагрузки, воздействие скольжения и трения, и могут использоваться в экстремальных условиях.

Износостойкие стали должны иметь высокую прочность, сопротивление усталостному разрушению, вязкость разрушения, теплопроводность, при наличии агрессивных сред – коррозионную стойкость.

Основное потребительское свойство этих сталей – высокая стойкость деталей при кавитационной коррозии и механическом изнашивании при значительных ударных нагрузках

Износостойкие стали (ГОСТ 5632-72) по химическому составу могут быть высокоуглеродистыми

(1,1 ÷ 1,3) %C или малоуглеродистыми и высоколегированными (Si, Mn, Cr, Ni и др.). Эти стали (12X18H9T, 30X10Г10, X14AG12, X14AG12M, Г13) применяют чаще в литом или кованном (катанном) состоянии, так как их общее технологическое свойство – пониженная обрабатываемость резанием.

Легированные стали. Дисперсионно-твердеющие стали (ДТС)



Дисперсионно-твердеющие марки нержавеющей стали относятся к группе хромоникелевых сталей ($Cr \approx 17\%$, $Ni \approx 5\%$), легированных **медью**. Их отличительной чертой является **возможность получения различных механических свойств в зависимости от выбранного режима термической обработки**.

Все дисперсионно-твердеющие марки нержавеющей стали характеризуются уникальным сочетанием высоких механических свойств, хорошей коррозионной стойкости и возможности использования при низких – до минус $73\text{ }^{\circ}\text{C}$ и высоких температурах – до $500\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Упрочнение в ДТС происходит за счет **вторичного твердения**, которое проявляется при отпуске предварительно закаленных сталей со структурой мартенсита благодаря выделению **карбидов при температуре $(550 \div 650)\text{ }^{\circ}\text{C}$** . Содержание углерода в этих сталях не должно превышать $(0,3 \div 0,4)\%$, чтобы не было значительного снижения пластичности.

Для оптимального упрочнения сталей при вторичном твердении применяют комплексное легирование хромом, молибденом, ниобием и ванадием, при котором максимум вторичного твердения достигается при $Cr = 5\%$, Mo от 1 до 2%, $V = 0,5\%$. Т.о., эффект упрочнения обусловлен выделением дисперсных частиц карбидов хрома (максимум твердения при $500\text{ }^{\circ}\text{C}$); карбидов молибдена ($550\text{ }^{\circ}\text{C}$); карбидов ванадия ($600\text{ }^{\circ}\text{C}$). Полезным является легирование стали кремнием. При $Si = (0,7 \div 1,2)\%$ повышается интенсивность вторичного твердения.

Примеры высокопрочных отечественных дисперсионно-твердеющих сталей: 40X5M2CF; 40X5M2CFB; 40X5CFB.

Среди импортных марок наибольшее распространение из всех известных дисперсионно-твердеющих марок нержавеющей стали получила сталь AISI 630.

ДТС пригодны для использования в морской среде, в т.ч. в качестве компонентов клапанов и насосов, но восприимчивы к щелевой коррозии в стоячей воде. В арматуростроении дисперсионно-твердеющие используются для изготовления золотников, в шаровых кранах для штоков и валов; в судостроении для гребных валов; для специального крепежа; в насосах для валов и роторов

Дуплексные стали



При увеличении содержания **хрома свыше 20 %** в аустенитных хромоникелевых сталях вместо чисто аустенитной структуры наблюдается смешанная – аустенитно-ферритная. Такие коррозионностойкие стали, имеющие мелкозернистую смешанную микроструктуру чередующихся зерен аустенита и феррита, называют **«дуплексными»**

Такой фазовый состав обеспечивает следующие преимущества:

- более **высокие прочностные характеристики**: диапазон предела текучести $\sigma_{0,2}$ (400 ÷ 450) МПа; предела прочности σ_b (600 ÷ 850) МПа ; $\delta > 30 \%$ и $\psi > 50 \%$. Максимальные значения предела текучести и предела прочности достигаются при содержании феррита 50 ÷ 60 %. Это позволяет уменьшать сечение элементов и, следовательно, их массу
- **хорошая свариваемость** больших толщин. Технология сварки не настолько простая, как у аустенитных, но намного лучше, чем у ферритных. Сварные швы получаются очень прочные и менее подвержены образованию трещин, чем при сварке аустенитных сталей
- **хорошая ударная вязкость** – намного лучше, чем у ферритных сталей, особенно при низких температурах: обычно до минус 50 °С, в некоторых случаях – до минус 80 °С
- благодаря двухфазной структуре и низкому содержанию углерода дуплексные стали обладают **высокой коррозионной стойкостью** ко многим видам коррозии
- **не подвержены коррозионному растрескиванию под напряжением**: трещины могут возникать только на аустенитных участках, но ферритные участки задерживают их развитие
- **устойчивы к эрозии** благодаря сочетанию высокой поверхностной твёрдости и хорошей общей коррозионной стойкости
- **более устойчивы против МКК**, чем аустенитные

Дуплексные стали. Марки



Зарубежные дуплексные стали

Номер по EN/UNS	Тип	Примерное содержание, %						
		Cr	Ni	Mo	N	Mn	W	Cu
1.4362/ S32304	Низколегированная	23,0	4,8	0,3	0,10	-	-	-
1.4462/ S31803, S32205	Стандартная	22,0	5,7	3,1	0,17	-	-	-
1.4410/ S32750	Супер	25,0	7,0	4,0	0,27	-	-	-
1.4507/ S32520, S32550	Супер	25,0	6,5	3,5	0,25	-	-	1,5
1.4482/ S32001	Низколегированная	20,0	1,8	0,2	0,11	4,2	-	-
1.4162/ S32101	Низколегированная	21,5	1,5	0,3	0,22	5,0	-	-
1.4062/ S32202	Низколегированная	23,0	2,5	0,3	0,2	1,5	-	-
1.4501/ S32760	Супер	25,0	7,0	3,2	0,25	-	0,7	0,7

В России дуплексные стали не получили широкого применения

Отечественной металлургией производятся аустенитно-ферритные стали трех поколений:

первого поколения – стали (выпускаются с 1955 г.), содержащие менее 0,12 % С и стабилизированные титаном 12Х2, Ш5Т (ЭИ811), 08Х22Н6 (ЭП53), 08Х21Н6М2Т (ЭП54))

второе поколение – стали с содержанием углерода менее 0,03 % С, нестабилизированные: 03Х23Н6 (ЗИ68) и 03Х22Н6М2 (ЗИ67)

третье поколение – стали с содержанием углерода менее 0,03 % С, нестабилизированные, дополнительно легированные азотом (до 0,35 %): 03Х24Н6АМЗ (ЗИ130) и 05Х22Н7АМЗД (ЭК72)

Наилучшим комплексом свойств обладают низкоуглеродистые азотсодержащие стали третьего поколения. Наиболее перспективна в данной группе сталь 03Х24Н6АМЗ (ЗИ130)

Легированные стали. Мартенситно-старяющие стали



Мартенситно-старяющие стали (МСС) представляют собой **безуглеродистые сплавы железа с никелем** (8 ÷ 25) %, дополнительно легированные (элементами, способствующими старению мартенсита) кобальтом, молибденом, титаном, алюминием, хромом и другими элементами. В зависимости от системы легирования происходит выпадение интерметаллидных фаз типа: Ni_3Ti , Ni_3Al , $NiTi$ и тд.

Интерметаллидная фаза – соединения или промежуточные твердые растворы, содержащие два или более металла и обычно отличающиеся по составу, характеристическим свойствам и кристаллической структуре от других фаз и чистых компонентов системы.

Достижимый уровень механических свойств в следующих пределах: σ_v до (1500 ÷ 2500) МПа; $\delta = (15 \div 20) \%$; $\psi = (30 \div 60) \%$. Мартенситно-старяющие стали обладают высокой конструкционной прочностью в интервале температур от криогенных до 500 °С.

Высокий уровень прочности, достигаемый в этих сталях, обусловлен процессами старения в безуглеродистом (менее 0,03 % С) мартенсите, который в исходном (несостаренном) состоянии обладает высокой пластичностью и относительно малой прочностью. Упрочнение сталей обусловлено процессами «предвыделения» и образования высокодисперсных интерметаллидных фаз. Т.о. у МСС определенное сочетание легирующих элементов обеспечивает формирование в процессе соответствующей термической обработки (старения) пластичной матричной фазы — мартенсита замещения, армированной дисперсными высокопрочными, равномерно распределенными частицами интерметаллидных фаз.

Никель при старении стали оказывает большое влияние на эффективность упрочнения: никель повышает растворимость многих элементов замещения в аустените и уменьшает их растворимость в мартенсите, благодаря чему закалкой можно зафиксировать сильно пересыщенный α -твердый раствор (мартенсит замещения), способный к интенсивному дисперсионному твердению при старении. Уменьшается растворимость легирующих элементов (Ti, Al, Mo, V и др.), что приводит к увеличению объемной доли выделяющихся при старении соответствующих интерметаллидных фаз (Ni_3Ti , $NiAl$, Fe_2Mo , Ni_3V и др.).

Основной системой легирования мартенситно-старяющей стали, обеспечивающей максимальный уровень прочности, является железоникелевый сплав (18 ÷ 25 % Ni), содержащий добавки Mo, Co, Ti и Al (Н18К9М5Т, Н18К8М5ТЮ, Н18К12М5Т и др.).

Другой распространенной системой, обеспечивающей уровень прочности σ_v до 600 МПа, является железохромоникелевый сплав (10 ÷ 13) % Cr и (5 ÷ 10) % Ni) с добавками Mo, Co, Ti и Al: Х11Н10М2ТЮ, Х12Н9К4МВТ, 03Х12К14Н5М5Т и др. В структуре этих сталей может быть (10 ÷ 40) % остаточного аустенита.

Третьей системой легирования мартенситно-старяющих сталей, обеспечивающей уровень прочности σ_v до 500 МПа, является сплав Fe с 12 % Ni и дополнительным легированием Cu, Mn, V и другими элементами, вызывающими умеренное старение (Н12М2Д2ТЮ, 03Н12Х5М3, Н8Г4Ф3Д2 и др.).

Четвертой системой легирования – является железоникелькобальтовый сплав (9 % Ni ÷ 4 % Co) с добавками карбидообразующих элементов и содержанием С (0,2 ÷ 0,4) %. Смешанный карбидно-интерметаллидный механизм упрочнения обеспечивает уровень прочности $\sigma_v = 1300 \div 2000$ МПа.

Легированные стали. Маркировка



В отличие от маркировки углеродистых сталей, в марке легированных сталей, отражается среднее содержание легирующих элементов.

Обычно, **две цифры** в начале марки указывают **среднее содержание углерода в сотых долях %**. Если в начале марки нет цифры, то количество углерода составляет 1,0 % и выше.

Затем **буквой указан легирующий элемент**, входящий в состав, стали и **цифрой** следом – **среднее содержание в целых %**, если оно превышает 1,0 %. Если за буквой отсутствует цифра, то содержание данного элемента около 1,0 %. Исключение сделано для элементов, применяемых для микролегирования (V, Ti, Mo, Nb, Zr, B, N и др.), присутствие которых в сталях даже в тысячных долях процента оказывает существенное влияние на свойства стали.

При маркировке легированной стали используют следующие буквенные обозначения легирующих элементов:

- А (в начале обозначения) – сера;
- А (в середине обозначения) – азот;
- Б – ниобий;
- В – вольфрам;
- Г – марганец;
- Д – медь;
- Е – селен;
- К – кобальт;
- М – молибден;
- Н – никель;
- П – фосфор;
- Р – бор;
- С – кремний;
- Т – титан;
- Ф – ванадий;
- Х – хром;
- Ц – цирконий;
- Ю – алюминий;
- Ч – редкоземельные металлы.

Маркировка сталей. Исключения



- Основная масса легированных сталей выплавляется качественными. Отличие в обозначении качественных, высококачественных и особо высококачественных сталей заключается в том, что в конце марки могут приписывается буквы:
 - буква **А** в середине марки стали показывает содержание азота (14Г1АФ), а в конце марки – то, что сталь высококачественная с пониженным содержанием вредных примесей (12Х1М1ФА). Но в марках инструментальных легированных сталей, а также сталей и сплавов с особыми физическими свойствами буква А не указывается, так как все они всегда высококачественные (или особо высококачественные)
 - в конце марки литых сталей приписывается буква **Л**
 - буква **У** в конце марки низколегированных сталей обозначает, что сталь улучшенная, т.е. прошла термообработку – нормализацию или отпуск (17Г1СУ).
 - конце обозначения марок особо высококачественных сталей могут стоять буквы, показывающие способы ее дополнительного переплава:
 - ВД** - с целью улучшения качества сталь была подвергнута вакуумно-дуговому переплаву
 - Ш** – электрошлаковому
 - ПД** - плазменно-дуговому
 - ВИ** - вакуумно-индукционной выплавке

Качественные легированные стали содержат не более 0,035% серы и 0,035% фосфора, а высококачественные не более 0,025% серы и 0,025% фосфора.

- Маркировка некоторых групп сталей может начинаться с букв:
 - марки автоматных сталей начинаются с буквы **А**: А20, А40Г, АС14, АС38ХГМ
 - подшипниковых – с буквы **Ш**: ШХ15, ШХ20СГ, ШХ4-Ш (после буквы Ш указывают содержание хрома в десятых долях процента)
 - быстрорежущих – с буквы **Р**: Р6М5, Р6АМ5Ф3 (после буквы Р, следующая за ней цифра указывает на процентное содержание **W**. В отличие от легированных сталей в наименованиях быстрорежущих сталей не указывается процентное содержание хрома, т.к. оно составляет около 4 % во всех сталях, и углерода (оно пропорционально содержанию ванадия). Буква Ф, показывающая наличие ванадия, указывается только в том случае, если содержание ванадия составляет более 2,5 %)
 - электротехнических – с буквы **Э**
 - магнитотвердых – с буквы **Е**
- По-другому могут быть обозначены некоторые опытные и исследовательские – нестандартные легированные стали со следующими буквами в конце маркировки: **ЭИ, ЗИ, ДП, ДИ**.
- ЭИ электросталь исследовательская); ЭП (электросталь пробная)** - нестандартные легированные стали, разработанные заводом «Электросталь»;
- ЗИ** – легированная сталь, выпускаемую Златоустовским металлургическим заводом; **ДИ** – заводом «ДнепроСпецсталь»

Во всех случаях после сочетания букв идет порядковый номер стали, например ЭИ 417, ЭП 767, ЗИ 8, ДИ 8 и т. д. Традиционно, после освоения марки металлургическими и машиностроительными заводами условные обозначения заменяет общепринятая маркировка, отражающая химический состав стали: ЭИ257 (12Х14Н14В2М), ЭИ268 (14Х17Н2), ЭП182 (20Х1М1Ф1ПТ).

Сплавы на железоникелевой основе



Согласно ГОСТ 5632: к сплавам на железоникелевой основе относятся сплавы, основная структура которых является твердым раствором хрома и других легирующих элементов в железоникелевой основе (сумма никеля и железа более 65 % при приблизительном отношении никеля к железу 1:1,5)

В зависимости от легирования эти сплавы характеризуются высокой коррозионной стойкостью в сильноагрессивных средах, немагнитностью, окалиностойкостью, хладостойкостью, способностью к упрочнению, особыми физико-механическими свойствами. В атомной энергетике распространен сплав 12ХН35ВТ (ХН35ВТ) как для основных деталей, так и для крепежа при воздействии высокой температуры до 600 °С

После оптимальной термической обработки, состоящей в закалке с (1050 ÷ 1080) °С в воду, сплавы имеют чисто аустенитную структуру с отдельными включениями первичных карбонитридов титана

Сплавы на никелевой основе



К сплавам на никелевой основе относятся сплавы, основная структура которых является твердым раствором хрома и других легирующих элементов в никелевой основе (содержание никеля не менее 50 %)

Применяются для работы в экстремальных условиях эксплуатации, характеризующихся одновременным воздействием на металл сред особо высокой активности (например, HCl, H₂SO₄, HNO₃ + HF, H₃PO₄ + HF, H₂SiF₆ и др.) при повышенных температурах и давлениях, в которых коррозионностойкие стали и сплавы на железо-хромоникелевой основе недостаточно стойки. В атомной энергетике применяются сплав ХН78Т. В эту группу сплавов также входят хастеллои. В эту группу сплавов также входят хастеллои

Коррозионная стойкость одних никелевых сплавов связана с пассивностью, а других – с тем, что они имеют достаточно высокий равновесный потенциал и не замещают водород в кислых средах. Этим объясняется стойкость во многих средах включая кислоты и морскую воду

В коррозионностойких никелевых сплавах наиболее важными легирующими элементами являются хром, молибден и медь

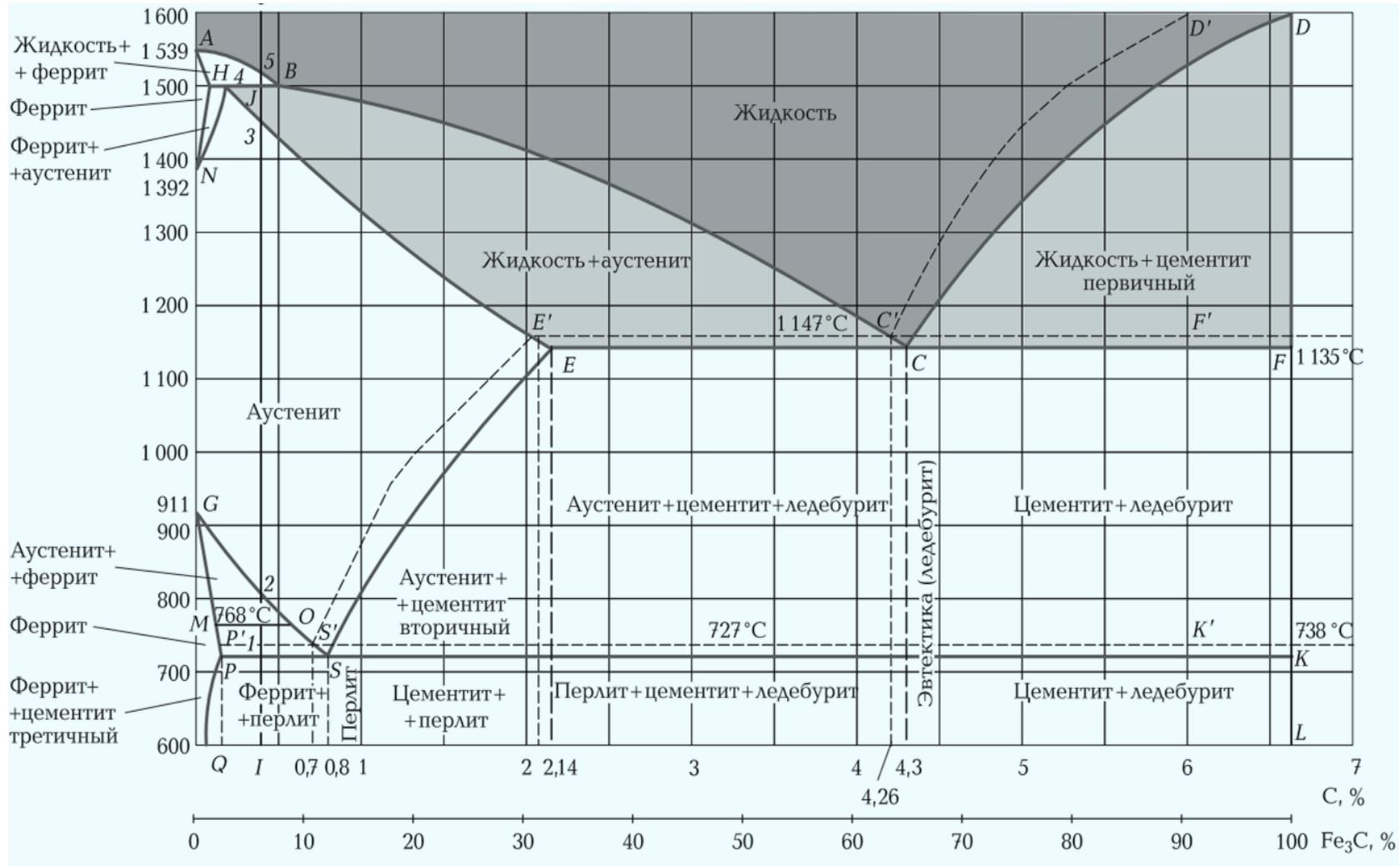
Существуют три системы легирования никелевых сплавов: Ni-Mo, Ni-Cr, Ni-Cr-Mo

Наряду с высокой коррозионной стойкостью в агрессивных средах никелевые сплавы имеют ряд других отличительных особенностей, к которым относятся:

- высокая пластичность в диапазоне от отрицательных температур до 1200 °С;
- в 1,5 ÷ 2 раза более высокие значения прочностных свойств, чем у стали 12Х18Н10Т;
- в 1,5 ÷ 2,0 раза более низкие значения коэффициентов линейного расширения (Ni-Mo сплавы) и теплопроводности, чем у широко распространенных коррозионностойких сплавов на основе железа.

Сплавы немагнитны, обладают способностью к деформации в горячем и холодном состояниях, обрабатываются механическими способами, свариваются

Диаграмма Fe-C



Спасибо за внимание

Семенова Елена

Semanova_es@aep.ru