

Лекция №7. СТАЛИ.

Сталь – сплав железа с углеродом, содержащий до 2,14% углерода.

сталь = Fe + C + примеси - углеродистые

сталь = Fe + C + ЛЭ + примеси - легированные

Влияние углерода и примесей на свойства сталей

$\uparrow C \Rightarrow HB, \sigma_B \uparrow; \delta, \psi \downarrow$ до 0,8%С

$\uparrow C \Rightarrow HB, \sigma_B \downarrow; \delta, \psi \downarrow > 0,8\%C$

С ростом содержания углерода в структуре стали увеличивается количество цементита, при одновременном снижении доли феррита. Изменение соотношения между составляющими приводит к уменьшению пластичности, а также к повышению прочности и твердости. Прочность повышается до содержания углерода около 1%, а затем она уменьшается, так как образуется грубая сетка цементита вторичного.

$\uparrow C \Rightarrow KC \downarrow; t_{xl} \uparrow$

Углерод влияет на вязкие свойства. Увеличение содержания углерода **повышает порог хладоломкости и снижает ударную вязкость.**

Повышаются электросопротивление и коэрцитивная сила, снижаются магнитная проницаемость и плотность магнитной индукции.

Углерод оказывает влияние и на технологические свойства. Повышение содержания углерода **ухудшает литейные свойства** стали (используются стали с содержанием

углерода до 0,4 %), обрабатываемость давлением и резанием, свариваемость. Следует учитывать, что стали с низким содержанием углерода также плохо обрабатываются резанием.

В сталях всегда присутствуют примеси, которые делятся на четыре группы.

1. Постоянные примеси: кремний, марганец, сера, фосфор.

Полезными примесями являются марганец и кремний. Их вводят в сталь в процессе выплавки для раскисления: являются **технологическими** примесями.

Содержание марганца не превышает 0,5...0,8 %. Марганец повышает прочность, не снижая пластичности, и резко снижает красноломкость стали, вызванную влиянием серы.

В полностью раскисленной углеродистой стали содержится до 0,4 % Si. Кремний является полезной примесью, так как эффективно раскисляет сталь и, полностью растворяясь в феррите, способствует его упрочнению.

Вредными примесями в стали являются **сера и фосфор.** Основным источником серы в стали является исходное сырье — чугуны. **Сера снижает пластичность и вязкость стали, особенно при низких температурах, а также сообщает стали красноломкость** при прокатке и ковке, **ухудшает свариваемость и коррозионную стойкость.**

Красноломкость - повышение хрупкости при высоких температурах.

Сера нерастворима в стали. Поэтому содержание серы в стали должно быть как можно меньше.

Повышенное (до 0,2 %) содержание серы допускается лишь в автоматных сталях для изготовления крепежных деталей неответственного назначения. Сера улучшает обрабатываемость стали.

Фосфор располагается вблизи границ зерен и способствует их охрупчиванию, **повышая температурный порог хладноломкости. Фосфор**, растворяясь в феррите, искажает кристаллическую решетку и **увеличивает предел прочности и предел текучести**, но **снижает пластичность и вязкость**. Фосфор обладает склонностью к ликвации, поэтому в центре слитка отдельные участки имеют резко пониженную вязкость. Для некоторых сталей возможно увеличение содержания фосфора до *0,10...0,15 %*, для **улучшения обрабатываемости резанием**.

Скрытые примеси — кислород, азот, водород — загрязняют углеродистую сталь хрупкими неметаллическими включениями, способствуя снижению вязкости и пластичности стали. **Водород** находится в твердом растворе и особенно сильно **охрупчивает** сталь.

Классификация и маркировка сталей

Стали, как наиболее широко применяемый конструкционный материал, представлены в современной технике наибольшим числом марок (~2000) и классифицируются по следующим главным признакам: по химическому составу, качеству, степени раскисления, структуре и назначению.

По химическому составу (применяется преимущественно для конструкционных сталей): **углеродистые и легированные**:

- **низкоуглеродистые** ($< 0,3\%C$),
- **среднеуглеродистые** ($0,3-0,7\%C$)
- **высокоуглеродистые** ($> 0,7\%C$).

Легированные стали в зависимости от введенных элементов подразделяют на **хромистые, марганцовистые,**

хромоникелевые, хромованадиевые и др. По суммарному количеству введенных легирующих элементов:

- **низколегированные** (суммарное количество легирующих элементов не превышает 5%),
- **среднелегированные** (Л.Э. не превышает 5-10%),
- **высоколегированные** (Л.Э. более 10%). Если в сплаве менее 50% железа (т.е. суммарное количество легирующих элементов более 50%) то такой сплав уже не является легированной сталью и называется **легированным сплавом**.

По качеству стали классифицируют на стали **обыкновенного качества, качественные и особо высококачественные**. Под качеством стали понимают совокупность свойств, определяемых металлургическим процессом ее производства.

Однородность химического состава, строения и свойств стали, а также ее технологичность во многом зависят от содержания газов (кислорода, водорода, азота) и вредных примесей – серы и фосфора. Газы являются количественно трудноопределяемыми примесями, поэтому нормы содержания *S* и *P* служат основными показателями для разделения сталей по качеству.

| | |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| обыкновенного качества | до 0,050% S и 0,040% P |
| Качественные | не более 0,04% S и 0,035% P |
| Высококачественные (A) | не более 0,025% S и 0,025% P |
| особо высококачественные(Ш) | не более 0,015% S и 0,025% P . |

По степени раскисления и характеру затвердевания стали классифицируют на **спокойные, полуспокойные и кипящие**.

Раскисление – удаление кислорода из жидкого чугуна при его переработке в сталь, проводимое для предотвращения краснеломкости стали.

Спокойные стали раскисляют Mn, Si и Al. Они содержат мало кислорода и затвердевают спокойно без газоотделения.

Кипящие стали раскисляют только Mn. Перед разливкой в изложницы они содержат повышенное количество кислорода, который при затвердевании металла, частично взаимодействуя с углеродом, выделяется в виде пузырьков окиси углерода и создает впечатление кипения металла. Кипящие стали дешевы, их производят низкоуглеродистыми (0,2 -0,25%) и практически без кремния ($Si \leq 0,07\%$), но с повышенным содержанием газовых примесей, что повышает порог хладноломкости кипящих сталей. В то же время кипящие стали отличаются повышенной пластичностью.

Полуспокойные стали по степени раскисления занимают промежуточное положение между спокойными и кипящими.

Согласно ГОСТ степень раскисления обозначается в конце марки стали двумя строчными буквами русского алфавита: спокойные – «сп», кипящие – «кп», полуспокойные – «пс».

При **классификации по назначению** стали можно объединить в следующие группы.

Конструкционная сталь, идущая на изготовление деталей машин. Конструкционная (машиноподелочная) сталь (ГОСТы 1050, 4543) у потребителя, как правило, подвергается термической обработке. Поэтому конструкционные стали подразделяют на **цементуемые** (низкоуглеродистые, подвергаемые цементации с последующей термообработ-

кой) и **улучшаемые** (среднеуглеродистые, подвергаемые закалке и отпуску, практически не обязательно высокому).

Стали, близкие по составу к конструкционным, но не предназначенные для термообработки у потребителя, объединяются в группу строительных сталей. **Строительные стали** (ГОСТ19282) применяются для изготовления металлоконструкций и арматуры. Они должны обладать хорошей свариваемостью и достаточной хладостойкостью, поэтому это низкоуглеродистые низколегированные стали.

Инструментальная сталь, идущая на изготовление режущего, измерительного, штампового и прочего инструмента (ГОСТы 1435, 5950, 19265) подвергается термообработке. Это высокоуглеродистая сталь, может содержать различное количество легирующих элементов.

Специальная сталь (сталь с особыми свойствами), обладающая каким-нибудь одним резко выраженным эксплуатационным свойством или группой свойств: коррозионностойкие, жаропрочные, жаростойкие и т.д.

Стали этой группы в основном высоколегированные. Некоторые специальные стали являются универсальными, т.е. обладают одновременно рядом эксплуатационных свойств. К группе специальных сталей относятся также легированные сплавы, хотя формально сталями они не являются, т.к. содержат менее 50% железа (XН78Т, X20Н80 и др.).

Маркировка сталей

Стали обыкновенного качества (химический состав по ГОСТ 380, механические свойства горячекатаных сталей ГОСТ 535) маркируются сочетанием букв «Ст» и цифрой (от 0 до 6), показывающей номер марки. Степень раскисления обозначают добавлением букв «сп», «пс» и «кп».

БСт.3кп. ВСт.3пс. ВСт.4сп.

С увеличением номера марки возрастает прочность и снижается пластичность стали. По гарантиям при поставке существует три группы сталей: А, Б и В. Для сталей **группы А** при поставке гарантируются механические свойства, в обозначении индекс группы А не указывается. Для сталей **группы Б** гарантируется химический состав. Для сталей **группы В** при поставке гарантируются и механические свойства, и химический состав.

Для этих сталей, кроме Ст0, справедлива следующая эмпирическая формула для определения количества углерода

$$C(\%) \approx 0,07 \times \text{номер марки} \quad (1)$$

Так, в стали Ст3 содержание углерода $C \approx 0,07 \times 3 = 0,21\%$ (фактически 0,14-0,22%).

Содержание кремния в сталях этой группы зависит от способа раскисления: у **кипящих** сталей – не более 0,05-0,07%, у **полуспокойных** – не более 0,17%, у **спокойных** – не более 0,3%.

Содержание **серы** $\leq 0,05\%$, **фосфора** $\leq 0,04\%$.

Из сталей **обыкновенного качества изготавливают горячекатаный рядовой прокат**: балки, швеллеры, уголки, прутки, а также листы, трубы и поковки. Стали в состоянии поставки широко применяют в строительстве для сварных, клепанных и болтовых конструкций.

Углеродистые качественные стали (ГОСТ 1050) маркируют двухзначными числами (08, 10, 15, 20, ..., 60), обозначающими среднее содержание углерода в сотых долях процента.

Спокойные стали ($\leq 0,37\%Si$) маркируются без индекса «сп», полуспокойные (0,05-0,17% Si) и кипящие ($\leq 0,03\%Si$) с индексами «пс» и «кп», соответственно.

Стали без термической обработки (низкоуглеродистые) используют для малонагруженных деталей, ответственных сварных конструкций, а также для деталей машин, упрочняемых цементацией.

Среднеуглеродистые стали (0.3-0.5% C) 30, 35, ..., 55 применяют после нормализации, улучшения и поверхностной закалки для самых разнообразных деталей во всех отраслях промышленности. Эти стали по сравнению с низкоуглеродистыми имеют более высокую прочность при более низкой пластичности ($\sigma_B=500,600\text{МПа}$, $\sigma_{0,2}=300 - 360\text{МПа}$, $\delta=21,16\%$). В связи с этим их следует применять для изготовления небольших деталей или более крупных, но не требующих сквозной прокаливаемости.

Стали с высоким содержанием углерода (0.6-0.85% C) 60, 65, ..., 85 обладают высокой прочностью, износостойкостью и упругими свойствами. Из этих сталей изготавливают пружины и рессоры, шпиндели, замковые шайбы, прокатные валки и т.д.

Углеродистые инструментальные стали (ГОСТ 1435) маркируются буквой «У» и числом, указывающим содержание углерода в десятых долях процента: У7, У8, У9, ..., У13. В стали У7 – 0,7% C и т.д.

Легированные стали имеют буквенно-цифровую маркировку, характеризующую примерный химический состав стали.

Маркировка легированной стали включает в себя

- обозначение содержания углерода;

- наименование и количество легирующих элементов;
- специальные обозначения (если таковые имеются).

Содержание углерода указывается в начале марки стали цифрой, отвечающей его среднему содержанию: в сотых долях процента для сталей, содержащих до 0,7% С (это конструкционные стали) и в десятых долях процента для сталей, содержащих >0,7%С (это главным образом, инструментальные стали). При маркировке высокоуглеродистых (более 1%С) легированных инструментальных сталей обозначение содержания углерода в начале марки опускается. Примеры: сталь 10 содержит 0,07-0,14%С, сталь У10 – 0,95-1,05%С, сталь Х12 содержит 2,0-2,2%С.

Легирующие элементы, содержащиеся в стали, обозначаются буквами русского алфавита (табл.1).

Таблица 1. Обозначение основных легирующих элементов в сталях и цветных сплавах

| Элемент | Символ | Обозначение | | Группы стали, сплавы |
|----------|--------|-------------|-----------|--|
| | | сталь | цвет. сп. | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Азот | N | А | - | Кст – 0,015-0,025%; Ск – 0,15-1,0 % |
| Алюминий | Al | Ю | А | Кст; Сжс – 4-5%; магналии; бронзы; силумины; дуралюмины; КМ; АФМ |
| Бериллий | Be | - | Б | Бронзы; ФМ |
| Бор | B | Р | - | К – 0,002-0,005 %; Сжп |
| Ванадий | V | Ф | - | К - <3%; Кст; И; ИБ |
| Вольфрам | W | В | - | К – 0,8-1,2%; И – 1-1,5%; ИБ; НМ; ТС |

| | | | | |
|----------|----|----------|-----------|---|
| Железо | Fe | ос-но-ва | Ж | К; И; С; СЛ - <50% бронзы; ФМ |
| Кадмий | Cd | - | Кд | Припой |
| Кобальт | Co | К | К | ИБ; Сх; ТС – 3-25%; Бронзы; металлокерамика |
| Кремний | Si | С | Кр (К) | К - < 2%; Кр; Кст; Ки; И Бронзы, силумины; НМ |
| Магний | Mg | - | Мг | Магналии; КМ |
| Марганец | Mn | Г | Мц | К - <1,5%; Кр; И; Си; Ск; Сжс; Сх; дуралюмины; эл.тех. сплавы; НМ |
| Медь | Cu | Д | М | Кст– 0,15-0,3%; Ск Бронзы; латуни; мельхиоры; ФМ |
| Молибден | Mo | М | - | К – 0,2-0,4%; КТ;И; ИБ; СК; СХ |
| Никель | Ni | Н | Н | К – 1-5%; Ск; Сжс; Сжп; Сх; Бронзы, латуни, мельхиоры; эл.тех. сплавы; КМ; НМ |
| Ниобий | Nb | Б | - | Кст; Ск |
| Олово | Sn | - | О | Бронзы, баббиты; припой |
| Свинец | Pb | - | С | Кпр – 0,15-0,35%; Бронзы, баббиты, припой |
| Селен | Se | Е | СТ | Кпр – 0,04-0,1%; |
| Серебро | Ag | - | Ср | Припой |
| Сурьма | Sb | - | Су | Баббиты; припой |
| Титан | Ti | Т | - | К - < 0,1%; СК; СХ; СЖС КМ; НМ; ТС |
| Углерод | C | У | - | К - <0,7%; И – 0,7-2%; Си ТС; НМ – до 4% |

| | | | | |
|--------|----|---|---|---|
| Фосфор | P | П | Ф | Кст – 0,07-0,12%; Кпр – 0,05 – 0,15% АФМ |
| Хром | Cr | Х | Х | К - < 2%; Кт; Ки; И; Иб; Ск – >13%; Сжс; Сх; Си; НМ |
| Цинк | Zn | - | Ц | Латуни; бронзы, припои, подш. сплавы |

Примечания

Группы (подгруппы) легированных сталей и сплавов:

К – конструкционные стали (**Кст** – строительные низколегированные, **Ки** – износостойкие, **Кр** – рессорно-пружинные; **Кпр** – повышенной обрабатываемости резанием, **Кт** – теплостойкие).

И – инструментальные стали (**Иб** – быстрорежущие).

С – специальные стали (**Ск** – коррозионностойкие, **Сжс** – жаростойкие, **Сжп** – жаропрочные, **Сх** – хладостойкие, **Си** – износостойкие).

СЛ – легированные сплавы (Fe<50%); **КМ** – композиционные материалы; **ТС** – твердые сплавы; **НМ** – износостойкие наплавочные материалы; **АФМ** – антифрикционные материалы; **ФМ** – фрикционные материалы.

Легированные конструкционные стали

Сталь 15X25H19BC2

В начале марки указывается двухзначное число, показывающее содержание углерода в сотых долях процента. Далее перечисляются легирующие элементы. Число, следующее за условным обозначением элемента, показывает его содержание в процентах.

Если число не стоит, то содержание элемента не превышает 1 %.

В указанной марке стали содержится 0,15 % углерода, 25% хрома. 19 % никеля, до 1% вольфрама, 2 % кремния.

Для обозначения высококачественных легированных сталей в конце марки указывается символ А.

Легированные инструментальные стали

Сталь 9ХС, сталь ХВГ.

В начале марки указывается однозначное число, показывающее содержание углерода в десятых долях процента. При содержании углерода более 1 %, число не указывается,

Далее перечисляются легирующие элементы, с указанием их содержания.

Быстрорежущие инструментальные стали

Сталь Р18

Р - индекс данной группы сталей (от rapid - скорость). Содержание углерода более 1%. Число показывает содержание основного легирующего элемента - вольфрама.

В указанной стали содержание вольфрама -18 %.

Если стали содержат легирующие элемент, то их содержание указывается после обозначения соответствующего элемента.

Шарикоподшипниковые стали

Сталь ШХ6, сталь ШХ15ГС

Ш - индекс данной группы сталей. Х - указывает на наличие в стали хрома. Последующее число показывает содержание хрома в десятых долях процента, в указанных сталях, соответственно, 0,6% и 1,5 %. Также указываются входящие в состав стали легирующие элементы. Содержание углерода более 1 %.