

## Стали. Классификация и маркировка сталей.

Стали являются наиболее распространенными материалами. Обладают хорошими технологическими свойствами. Изделия получают в результате обработки давлением и резанием.

Достоинством является возможность, получать нужный комплекс свойств, изменяя состав и вид обработки. Стали, подразделяют на углеродистые и легированные.

### **Влияние углерода и примесей на свойства сталей**

Углеродистые стали являются основными. Их свойства определяются количеством углерода и содержанием примесей, которые взаимодействуют с железом и углеродом.

### **Влияние углерода.**

Влияние углерода на свойства сталей показано на рис. 10.1

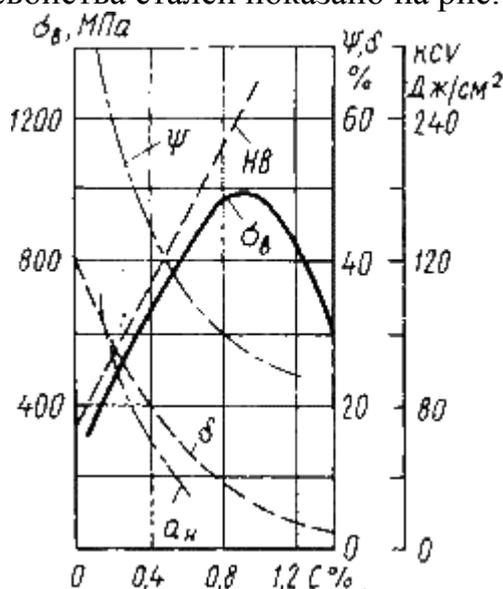


Рис.10.1. Влияние углерода на свойства сталей

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.

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.

### **Влияние примесей.**

В сталях всегда присутствуют примеси, которые делятся на четыре группы. 1. *Постоянные примеси*: кремний, марганец, сера, фосфор.

Марганец и кремний вводятся в процессе выплавки стали для раскисления, они 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. Он способствует уменьшению содержания сульфида железа  $FeS$ , так как образует с серой соединение сульфид марганца  $MnS$ . Частицы сульфида марганца располагаются в виде отдельных включений, которые деформируются и оказываются вытянутыми вдоль направления прокатки.

Содержание кремния не превышает 0,35...0,4 %. Кремний, дегазируя металл, повышает плотность слитка. Кремний растворяется в феррите и повышает прочность стали, особенно повышается предел текучести,  $\sigma_{0,2}$ . Но наблюдается некоторое снижение пластичности, что снижает способность стали к вытяжке

Содержание фосфора в стали 0,025...0,045 %. Фосфор, растворяясь в феррите, искажает кристаллическую решетку и увеличивает предел прочности  $\sigma_s$  и предел текучести  $\sigma_{ж}$ , но снижает пластичность и вязкость.

Располагаясь вблизи зерен, увеличивает температуру перехода в хрупкое состояние, вызывает хладоломкость, уменьшает работу распространения трещин, Повышение содержания фосфора на каждую 0,01 % повышает порог хладоломкости на 20...25°C.

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.

$S$  – уменьшается пластичность, свариваемость и коррозионная стойкость.  $P$  – искажает кристаллическую решетку.

Содержание серы в сталях составляет 0,025...0,06 %. Сера – вредная примесь, попадает в сталь из чугуна. При взаимодействии с железом образует химическое соединение – сульфид серы  $FeS$ , которое, в свою очередь, образует с железом легкоплавкую эвтектику с температурой плавления 988°C. При нагреве под прокатку или ковку эвтектика плавится, нарушаются связи между зернами. При деформации в местах расположения эвтектики возникают надрывы и трещины, заготовка разрушается – явление *красноломкости*.

*Красноломкость* – повышение хрупкости при высоких температурах

Сера снижает механические свойства, особенно ударную вязкость  $a_k$  и пластичность ( $\delta$  и  $\psi$ ), а так же предел выносливости. Она ухудшает свариваемость и коррозионную стойкость.

2. *Скрытые примеси* - газы (азот, кислород, водород) – попадают в сталь при выплавке.

Азот и кислород находятся в стали в виде хрупких неметаллических включений: окислов ( $FeO$ ,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ) нитридов ( $Fe_2N$ ), в виде твердого раствора или в свободном состоянии, располагаясь в дефектах (раковинах, трещинах).

Примеси внедрения (азот  $N$ , кислород  $O$ ) повышают порог хладоломкости и снижают сопротивление хрупкому разрушению. Неметаллические включения (окислы, нитриды), являясь концентраторами напряжений, могут значительно понизить предел выносливости и вязкость.

Очень вредным является растворенный в стали водород, который значительно охрупчивает сталь. Он приводит к образованию в катанных заготовках и поковках *флокенов*.

*Флокены* – тонкие трещины овальной или округлой формы, имеющие в изломе вид пятен – хлопьев серебристого цвета.

Металл с флокенами нельзя использовать в промышленности, при сварке образуются холодные трещины в наплавленном и основном металле.

Если водород находится в поверхностном слое, то он удаляется в результате нагрева при  $150...180^{\circ}$ , лучше в вакууме  $\sim 10^{-2}...10^{-3}$  мм рт. ст.

Для удаления скрытых примесей используют вакуумирование.

3. *Специальные примеси* – специально вводятся в сталь для получения заданных свойств. Примеси называются легирующими элементами, а стали – легированные сталями.

### **Назначение легирующих элементов.**

Основным легирующим элементом является хром ( $0,8...1,2\%$ ). Он повышает прокаливаемость, способствует получению высокой и равномерной твердости стали. Порог хладоломкости хромистых сталей - ( $0...-100^{\circ}C$ ).

Дополнительные легирующие элементы.

Бор -  $0,003\%$ . Увеличивает прокаливаемость, а также повышает порог хладоломкости ( $+20...-60^{\circ}C$ ).

Марганец – увеличивает прокаливаемость, однако содействует росту зерна, и повышает порог хладоломкости до ( $+40...-60^{\circ}C$ ).

Титан ( $\sim 0,1\%$ ) вводят для измельчения зерна в хромомарганцевой стали.

Введение молибдена ( $0,15...0,46\%$ ) в хромистые стали увеличивает прокаливаемость, снижает порог хладоломкости до  $-20...-120^{\circ}C$ . Молибден увеличивает статическую, динамическую и усталостную прочность стали, устраняет склонность к внутреннему окислению. Кроме того, молибден снижает склонность к отпускной хрупкости сталей, содержащих никель.

Ванадий в количестве ( $0,1...0,3\%$ ) в хромистых сталях измельчает зерно и повышает прочность и вязкость.

Введение в хромистые стали никеля, значительно повышает прочность и прокаливаемость, понижает порог хладоломкости, но при этом повышает склонность к отпускной хрупкости (этот недостаток компенсируется введением в сталь молибдена). Хромоникелевые стали, обладают наилучшим комплексом

свойств. Однако никель является дефицитным, и применение таких сталей ограничено.

Значительное количество никеля можно заменить медью, это не приводит к снижению вязкости.

При легировании хромомарганцевых сталей кремнием получают, стали – хромансиль (*20ХГС, 30ХГСА*). Стали обладают хорошим сочетанием прочности и вязкости, хорошо свариваются, штампуются и обрабатываются резанием. Кремний повышает ударную вязкость и температурный запас вязкости.

Добавка свинца, кальция – улучшает обрабатываемость резанием. Применение упрочнения термической обработки улучшает комплекс механических свойств.

### **Распределение легирующих элементов в стали.**

Легирующие элементы растворяются в основных фазах железоуглеродистых сплавов ( феррит, аустенит, цементит), или образуют специальные карбиды.

Растворение легирующих элементов в  $Fe_{\alpha}$  происходит в результате замещения атомов железа атомами этих элементов. Эти атомы создают в решетке напряжения, которые вызывают изменение ее периода.

Изменение размеров решетки вызывает изменение свойств феррита – прочность повышается, пластичность уменьшается. Хром, молибден и вольфрам упрочняют меньше, чем никель, кремний и марганец. Молибден и вольфрам, а также кремний и марганец в определенных количествах, снижают вязкость.

В сталях карбиды образуются металлами, расположенными в таблице Менделеева левее железа (хром, ванадий, титан), которые имеют менее достроенную  $d$  – электронную полосу.

В процессе карбидообразования углерод отдает свои валентные электроны на заполнение  $d$  – электронной полосы атома металла, тогда как у металла валентные электроны образуют металлическую связь, обуславливающую металлические свойства карбидов.

При соотношении атомных радиусов углерода и металла более  $0,59$  образуются типичные химические соединения:  $Fe_3C$ ,  $Mn_3C$ ,  $Cr_{23}C_6$ ,  $Cr_7C_3$ ,  $Fe_3W_3C$  – которые имеют сложную кристаллическую решетку и при нагреве растворяются в аустените.

При соотношении атомных радиусов углерода и металла менее  $0,59$  образуются фазы внедрения:  $Mo_2C$ ,  $WC$ ,  $VC$ ,  $TiC$ ,  $TaC$ ,  $W_2C$  – которые имеют простую кристаллическую решетку и трудно растворяются в аустените.

Все карбиды обладают высокой твердостью и температурой плавления.

4. Случайные примеси.

## **Классификация и маркировка сталей**

### **Классификация сталей**

Стали классифицируются по множеству признаков.

1. По химическому: составу: углеродистые и легированные.
2. По содержанию углерода:

- низкоуглеродистые, с содержанием углерода до 0,25 %;
- среднеуглеродистые, с содержанием углерода 0,3...0,6 %;
- высокоуглеродистые, с содержанием углерода выше 0,7 %

3. По равновесной структуре: доэвтектоидные, эвтектоидные, заэвтектоидные.

4. По качеству. Количественным показателем качества является содержания вредных примесей: серы и фосфора:

- $0,04 \leq S \leq 0,06\%$  ,  $0,04 \leq P \leq 0,08\%$  – углеродистые стали

обыкновенного качества:

- $P, S = 0,03...0,04\%$  – качественные стали;
- $P, S \leq 0,03\%$  – высококачественные стали.

5. По способу выплавки:

- в мартеновских печах;
- в кислородных конверторах;
- в электрических печах: электродуговых, индукционных и др.

6. По назначению:

- конструкционные – применяются для изготовления деталей машин и механизмов;
- инструментальные – применяются для изготовления различных инструментов;
- специальные – стали с особыми свойствами: электротехнические, с особыми магнитными свойствами и др.

## **Маркировка сталей**

Принято буквенно-цифровое обозначение сталей

### ***Углеродистые стали обыкновенного качества (ГОСТ 380).***

Стали содержат повышенное количество серы и фосфора

Маркируются Ст.2кп., БСт.3кп, ВСт.3пс, ВСт.4сп.

Ст – индекс данной группы стали. Цифры от 0 до 6 - это условный номер марки стали. 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.

Индексы кп, пс, сп указывают степень раскисленности стали: кп - кипящая, пс - полуспокойная, сп - спокойная.

### ***Качественные углеродистые стали***

Качественные стали поставляют с гарантированными механическими свойствами и химическим составом (группа В). Степень раскисленности, в основном, спокойная.

*Конструкционные качественные углеродистые стали* Маркируются двухзначным числом, указывающим среднее содержание углерода в сотых долях процента. Указывается степень раскисленности, если она отличается от спокойной.

Сталь 08 кп, сталь 10 пс, сталь 45.

Содержание углерода, соответственно, 0,08 %, 0,10 %, 0,45 %.

*Инструментальные качественные углеродистые стали* маркируются буквой У (углеродистая инструментальная сталь) и числом, указывающим содержание углерода в десятых долях процента.

Сталь У8, сталь У13.

Содержание углерода, соответственно, 0,8 % и 1,3 %

*Инструментальные высококачественные углеродистые стали.* Маркируются аналогично качественным инструментальным углеродистым сталям, только в конце марки ставят букву А, для обозначения высокого качества стали.

Сталь У10А.

### ***Качественные и высококачественные легированные стали***

Обозначение буквенно-цифровое. Легирующие элементы имеют условные обозначения, Обозначаются буквами русского алфавита.

Обозначения легирующих элементов:

Х – хром, Н – никель, М – молибден, В – вольфрам,

К – кобальт, Т – титан, А – азот ( указывается в середине марки),

Г – марганец, Д – медь, Ф – ванадий, С – кремний,

П – фосфор, Р – бор, Б – ниобий, Ц – цирконий,

Ю – алюминий

### ***Легированные конструкционные стали***

Сталь 15Х25Н19ВС2

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 1,5 %.

В указанной марке стали содержится 0,15 % углерода, 35% хрома, 19 % никеля, до 1,5% вольфрама, до 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. Некоторые стали имеют нестандартные обозначения.

### ***Быстрорежущие инструментальные стали***

Сталь P18

P – 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. X – 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 %.