

Лекция 9

Тема лекции: Стали. Классификация и маркировка сталей.

Цель лекции:

Дать систематизированные знания о сталях как важнейших конструкционных материалах, рассмотреть их классификацию по химическому составу, назначению, качеству и структуре, а также ознакомить с принципами отечественной и международной маркировки сталей.

Основные вопросы:

1. Влияние углерода и примесей на свойства сталей
2. Влияние углерода.
3. Влияние примесей.
4. Назначение легирующих элементов.
5. Распределение легирующих элементов в сталях.
6. Классификация и маркировка сталей
7. Классификация сталей
8. Маркировка сталей
9. Углеродистые стали обыкновенного качества (ГОСТ 380).
10. Качественные углеродистые стали
11. Качественные и высококачественные легированные стали
12. Легированные конструкционные стали
13. Легированные инструментальные стали
14. Быстрорежущие инструментальные стали
15. Шарикоподшипниковые стали

Введение.

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

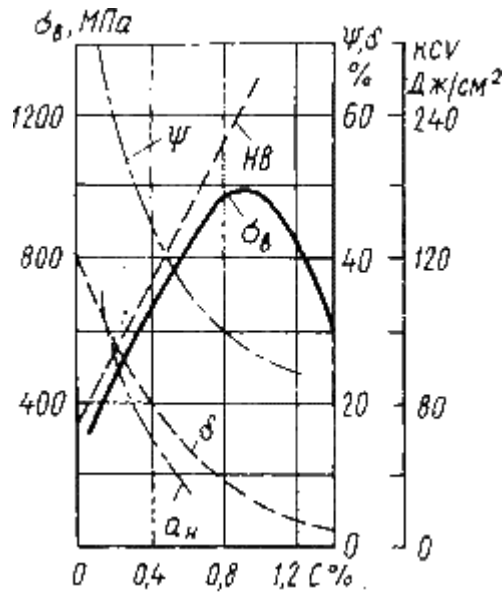


Рис.10.1. Влияние углерода на свойства сталей

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 $0,35 \dots 0,4 \%$. 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 $0,025 \dots 0,045 \%$. Фосфор, растворяясь в феррите, искажает кристаллическую решетку и увеличивает предел прочности σ_s и предел текучести $\sigma_{\text{ж}}$, 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 $20 \dots 25^\circ\text{C}$.

Фосфор обладает склонностью к ликвации, поэтому в центре слитка отдельные участки имеют резко пониженную вязкость.

Для некоторых сталей возможно увеличение содержания фосфора до $0,10 \dots 0,15 \%$, для улучшения обрабатываемости резанием.

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

Содержание серы в сталях составляет $0,025 \dots 0,06 \%$. 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 α_k и пластичность (δ и ψ), 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_3N), 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 катаных 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 – ($0...-100$) $^{\circ}\text{C}$.

Дополнительные легирующие элементы.

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

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

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 $-20...-120^{\circ}\text{C}$. 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_α 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 заполненную 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 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 %.

Вопросы для контроля изучаемого материала:

1. Чем сталь отличается от чугуна по составу и свойствам?
2. Как классифицируются стали по химическому составу?
3. Какие существуют группы сталей по назначению?
4. Что означает обозначение марки 40Х или Ст3?
5. Как обозначаются легирующие элементы в системе ГОСТ?
6. В чём особенности международной классификации сталей?

Список литературных источников:

1. Улицкий А. Р. Физика материалов. — М.: Физматлит, 2021.
2. Новиков И. И. Материаловедение. — М.: Metallurgia, 2019.
3. Callister W. D., Rethwisch D. G. Materials Science and Engineering: An Introduction. — Wiley, 2022.
4. Ashby M., Jones D. Engineering Materials 1–2. — Elsevier, 2021.
5. Лившиц Б.Г., Краношин В.С., Липецкий Я.Л. Физические свойства металлов и сплавов. М.: Metallurgia, 1980, -320 с