

## 5 УГЛЕРОДИСТЫЕ СТАЛИ

В состав углеродистых сталей кроме основных компонентов железа и углерода входят постоянные и случайные примеси. К постоянным примесям относятся: марганец, кремний, сера и фосфор. К случайным примесям относятся элементы, которые попадают вместе с рудой и газы: водород, азот и кислород.

### 5.1 Влияние углерода и примесей на свойства стали

Углерод - важнейший компонент определяющий структуру и свойств углеродистой стали. Малейшее изменение содержания углерода может заметно влиять на изменение свойства стали. С увеличением количества углерода в структуре стали растет содержание цементита. С ростом содержания углерода увеличивается твердость и прочность, снижается вязкость и пластичность стали.

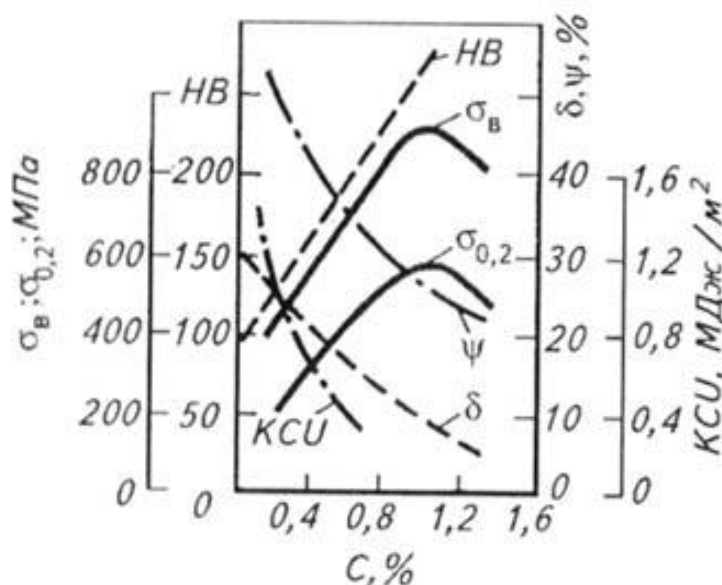


Рис.5.1- Влияние углерода на свойства стали

Рост прочности происходит до 0,8 - 1,0%С. При увеличении содержания углерода более 0,8% уменьшается не только пластичность, но и прочность. Это связано с образованием сетки хрупкого цементита вокруг перлитных зерен, легко разрушающейся при нагружении. По этой причине заэвтектоидные стали подвергают специальному отжигу на зернистый перлит.

Углерод оказывает влияние на свариваемость, обрабатываемость давлением и резанием. С увеличением содержания ухудшается свариваемость, а также способность деформироваться в горячем и особенно в холодном состоянии. Наиболее хорошо обрабатывается резанием среднеуглеродистые стали (0,3-0,4%). Низкоуглеродистые стали при механической обработке дают плохую поверхность и трудноудаляемую

стружку. Высокоуглеродистые стали имеют повышенную твердость, что снижает стойкость инструмента.

*Марганец и кремний* вводят в сталь в процессе выплавки с целью раскисления. Соединяясь с кислородом окиси железа FeO, в виде оксидов переходят в шлак  $\text{FeO} + \text{Mn} \rightarrow \text{MnO} + \text{Fe}$ ;  $2\text{FeO} + \text{Si} \rightarrow \text{SiO}_2 + 2\text{Fe}$ . Раскисление стали улучшает ее свойства.

В углеродистой стали содержится до 0,8% Mn. В таких количествах Mn полностью растворяется в феррите (кроме раскисления) и упрочняет его; увеличивая прокаливаемость стали, а также уменьшает вредное влияние серы:  $\text{FeS} + \text{Mn} \rightarrow \text{MnS} + \text{Fe}$ . В полностью раскисленной углеродистой стали содержится до 0,4% Si. Кремний эффективно раскисляет сталь, полностью растворяясь в феррите, упрочняет его. Кремний дегазируя металл, повышает плотность слитка.

*Сера и фосфор* являются вредными примесями. Основным источником серы исходное сырье – чугуны. Сера снижает пластичность и вязкость стали, вызывает красноломкость (хрупкость при высоких температурах) при прокатке и ковке. Сера нерастворима в стали. Она образует с железом соединение, хорошо растворимое в металле. Благодаря высокой ликвации (неоднородность химического состава) серы в стали может образовываться легкоплавкая эвтектика Fe – FeS ( $t_{\text{пл}} = 988^\circ\text{C}$ ).

Эвтектика располагается по границам зерен. При нагреве стальных заготовок до температур горячей деформации эвтектика вызывает в сталях хрупкость, а при некоторых случаях могут даже плавиться и при деформировании образовывать надрывы и трещины. Присутствие в стали марганца, обладающим большим сродством к сере, чем железо, и образующего с серой тугоплавкое соединение MnS, практически исключает явление красноломкости. В затвердевшей стали частицы MnS располагаются в виде отдельных включений. В деформированной стали эти включения деформируются и оказываются вытянутыми в направлении прокатки.

Сернистые включения снижают ударную вязкость (KCU) и пластичность ( $\delta$ ,  $\psi$ ) в поперечном направлении вытяжки при прокатке и ковке, а также предел выносливости. Сера ухудшает свариваемость и коррозионную стойкость.

Содержание серы строго ограничивается; в зависимости от качества стали оно не должно превышать 0,035 – 0,06%. Повышение (до 0,2%) содержания серы допускается лишь в автоматных сталях для изготовления крепежных деталей неотчетливого назначения. Сера улучшает обрабатываемость резанием.

Основным источником фосфора – руды, из которых выплавляется исходный чугун. Фосфор растворяясь в феррите, уменьшает его пластичность. Кристаллическая решетка фосфора резко отличается от кристаллической решетки железа по диаметру атомов и их строению, по типу кристаллической решетки, поэтому фосфор сильно искажает решетку феррита, делая феррит хладноломким (хрупким при низких температурах) и хрупким. Снижение вязкости тем значительнее, чем больше в стали углерода.

Фосфор повышает порог хладноломкости стали и уменьшает работу развития трещины. Вредное влияние фосфора усугубляется и тем, что он обладает большой склонностью к ликвации. Обычно фосфор располагается вблизи границ зерен и способствует их охрупчиванию, повышая температурный порог хладноломкости. Каждая 0,01% фосфора повышает порог хладноломкости стали на 20-25<sup>0</sup>С.

Содержание фосфора в зависимости от качества стали допускается не более 0,025- 0,045%.

*Влияние азота, кислорода и водорода.* Азот, кислород и водород находятся в сталях либо в виде твердого раствора в феррите, либо образуют химические соединения (нитриды, оксиды), либо присутствуют в свободном состоянии в порах металла. Кислород и азот мало растворимы в феррите. Они загрязняют сталь хрупкими неметаллическими включениями, способствуя снижению вязкости и пластичности стали.

Очень вредным является растворенный в стали водород, который сильно охрупчивает сталь. Повышенное содержание водорода приводит к образованию внутренних трещин – флокенов.

Даже небольшие концентрации газов оказывают резко отрицательное влияние, ухудшает пластические и вязкие свойства стали. Поэтому, для улучшения свойства стали применяется вакуумирование (выплавка или разливка стали в вакууме).

Кроме вышеуказанных в составе углеродистых сталей присутствуют случайные примеси, как Cr, Ni, Cu и др., наличие которых обусловлено загрязненностью шихты.

## **5.2 Классификация и маркировка сталей**

Каждому инженеру совершенно необходимо знать классификацию и маркировку материалов, предназначенных для изготовления деталей машин и конструкций. К числу таких материалов относятся металлы и их сплавы, металлические и металлокерамические порошки пластмассы, резина, стекло, керамика, древесные и др. неметаллические вещества. Наиболее широкое распространение в качестве конструкционных материалов в настоящее время получили металлы и их сплавы, поэтому в настоящей работе будут рассматриваться только стали, чугуны и цветные металлы, и их сплавы (медь, алюминий, титан, магний и сплавы на их основе).

Сталями принято называть сплавы железа с углеродом, содержание до 2,14% углерода. Кроме того, в состав сплава обычно входят марганец, кремний, сера и фосфор; некоторые элементы могут быть введены для улучшения физико-химических свойств специально (легирующие элементы).

Стали, классифицируют по самым различным признакам. Мы рассмотрим следующие: по химическому составу, назначению, качеству, степени раскисления.

В зависимости от *химического состава* различают стали **углеродистые** (ГОСТ 380-94, ГОСТ 1050-88) и **легированные** (ГОСТ 4543-71, ГОСТ 5632-72, ГОСТ 14959-79).

Углеродистые стали могут быть:

- а) малоуглеродистыми, т. е. содержащими углерода менее 0,25%;
- б) среднеуглеродистыми, содержание углерода составляет 0,25-0,60%
- в) высокоуглеродистыми, в которых концентрация углерода превышает 0,60% .

Легированные стали подразделяют на:

- а) низколегированные, содержание легирующих элементов до 2,5%
- б) среднелегированные, в их состав входят от 2,5 до 10% легирующих элементов;
- в) высоколегированные, которые содержат свыше 10% легирующих элементов.

*По назначению* стали делятся на:

- конструкционные, предназначенные для изготовления строительных и машиностроительных изделий.
- инструментальные, из которых изготовляют режущий, мерительный, штамповый и прочие инструменты. Эти стали содержат более 0,65% углерода.

*По качеству* в зависимости от содержания вредных примесей: серы и фосфора стали подразделяют на:

- стали обыкновенного качества, содержание до 0,06% серы и до 0,07% фосфора.
- качественные - до 0,035% серы и фосфора каждого отдельно.
- высококачественные - до 0,025% серы и фосфора.
- особовысококачественные, до 0,025% фосфора и до 0,015% серы.

*По степени раскисления.* По степени удаления кислорода из стали, т. е. по степени её раскисления, существуют:

- спокойные стали, т. е., полностью раскисленные; такие стали обозначаются буквами "сп" в конце марки (иногда буквы опускаются);
- кипящие стали - слабо раскисленные; маркируются буквами "кп";
- полуспокойные стали, занимающие промежуточное положение между двумя предыдущими; обозначаются буквами "пс".

### 5.2.1 Стали обыкновенного качества

Стали обыкновенного качества производят по общей технологии. Обозначают буквами "Ст" и условным номером марки (от 0 до 6) в зависимости от химического состава и механических свойств. Чем выше содержание углерода и прочностные свойства стали, тем больше её номер. Буква "Г" после номера марки указывает на повышенное содержание марганца в стали.

Например: Ст1кп - углеродистая сталь обыкновенного качества, кипящая, номер марки 1; Ст5Гпс - углеродистая сталь обыкновенного качества с повышенным содержанием марганца, полуспокойная, номер

марки 5; Ст0 - углеродистая сталь обыкновенного качества, номер марки 0.

Таблица 5.1- Сталь углеродистая обыкновенного качества ГОСТ 380-94

Марки стали	Предел прочности при растяжении, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %
Ст0	310	–	20...30
Ст1сп, пс	320...420	–	31...34
Ст2сп, пс	340...440	200...230	29...32
Ст3сп, пс	380...490	210...250	23...26
Ст3Гпс	380...500	210...250	23...26
Ст4сп, пс	420...540	240...270	21...24
Ст5Гпс	460...600	260...290	17...20
Ст6сп, пс	Не менее 600	300...320	12...15

*Примечание:* В стали марок Ст3Гпс и Ст5Гпс повышенное содержание марганца.

### 5.2.2 Качественная конструкционная сталь

Качественная конструкционная сталь выплавляется в мартеновских и электрических печах (спокойная, полуспокойная, кипящая).

Таблица 5.2- Сталь углеродистая качественная ГОСТ 1050-88

Марка стали	Содержание углерода, %	Предел прочности при растяжении, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %
08 кп, пс	0,05...0,11	330	200	35
10 кп, пс	0,07...0,14	340	210	31
15 кп, пс	0,12...0,19	380	230	27
20 кп, пс	0,17...0,24	420	250	25
25	0,22...0,30	460	280	23
30	0,27...0,35	500	300	21
35	0,32...0,40	540	320	20
40	0,37...0,45	580	340	19
45	0,42...0,50	610	360	16
50	0,47...0,55	640	380	14
60	0,57...0,65	690	410	12
70	0,67...0,75	730	430	9
80	0,77...0,85	1100*	950*	6*

\* Механические свойства после закалки и отпуска.

*Примечание:* В таблице приведены только некоторые марки сталей.

В зависимости от химического состава эта сталь делится на две группы: I – с нормальным содержанием марганца и II – с повышенным содержанием марганца. Марки стали и требования к механическим свойствам стали I группы в состоянии нормализации приведены в таблице 5.2. Сталь в соответствии с требованиями может поставляться в термически обработанном состоянии (отожженная, нормализованная, высокоотпущенная). Сталь маркируют следующим образом:

1) в начале марки указывают содержание углерода цифрой, соответствующей его средней концентрации; а) в сотых долях процента для сталей, содержащих до 0,65% углерода; 05кп – сталь углеродистая качественная, кипящая, содержит 0,05% С;

Например, марка 60 – сталь углеродистая качественная, спокойная, содержит 0,60% С; б) в десятых долях процента для инструментальных сталей, которые дополнительно снабжаются буквой "У":

Например, марка У7 – углеродистая инструментальная, качественная сталь, содержащая 0,7% С, спокойная (все инструментальные стали хорошо раскислены); Марка У12 – углеродистая инструментальная, качественная сталь, спокойная содержит 1,2% С;

2) легирующие элементы, входящие в состав стали, обозначают русскими буквами:

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

Если после буквы, обозначающей легирующий элемент, стоит цифра, то она указывает содержание этого элемента в процентах. Если цифры нет, то сталь содержит 0,8-1,5% легирующего элемента, за исключением молибдена и ванадия (содержание которых в солях обычно до 0,2-0,3%), а также бора (в стали с буквой Р его должно быть не менее 0,0010%).

Примеры:

14Г2 – низко легированная качественная сталь, спокойная, содержит приблизительно 0,14% углерода и до 2,0% марганца.

03Х16Н15М3Б – высоко легированная качественная сталь, спокойная содержит 0,03% С, 16,0% Cr, 15,0% Ni, до 3,0% Мо, до 1,0% Nb.

### 5.2.3 Высококачественные и особовысококачественные стали

Маркируют, так же как и качественные, но в конце марки высококачественной стали ставят букву А, (эта буква в середине марочного обозначения указывает на наличие азота, специально введённого в сталь), а после марки особовысококачественной – через тире букву "Ш".

Например:

У8А – углеродистая инструментальная высококачественная сталь,

содержащая 0,8% углерода;

30ХГС-Ш – особовысококачественная среднелегированная сталь, содержащая 0,30% углерода и от 0,8 до 1,5% хрома, марганца и кремния каждого.

Отдельные группы сталей обозначают несколько иначе. Шарикоподшипниковые стали маркируют буквами "ШХ", после которых указывают содержание хрома в десятых долях процента:

ШХ6 - шарикоподшипниковая сталь, содержащая 0,6% хрома;

ШХ15ГС - шарикоподшипниковая сталь, содержащая 1,5% хрома и от 0,8 до 1,5% марганца и кремния.

Быстрорежущие стали (сложнолегированные) обозначают буквой "Р", следующая за ней цифра указывает на процентное содержание в ней вольфрама:

Р18-быстрорежущая сталь, содержащая 18% вольфрама;

Р6М5К5-быстрорежущая сталь, содержащая 6% вольфрама 5% молибдена 5% кобальта.

Автоматные стали обозначают буквой "А" и цифрой, указывающей среднее содержание углерода в сотых долях процента:

А12 - автоматная сталь, содержащая 0,12% углерода (все автоматные стали имеют повышенное содержание серы и фосфора);

А40Г - автоматная сталь с 0,40% углерода и повышенным до 1,5% содержанием марганца.

