

## 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.

<b>обыкновенного качества</b>	до <b>0,050% S и 0,040% P</b>
<b>Качественные</b>	не более <b>0,04% S и 0,035% P</b>
<b>Высококачественные (А)</b>	не более <b>0,025% S и 0,025% P</b>
<b>особо высококачественные(Ш)</b>	не более <b>0,015% S и 0,025% P</b> .

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 за-калке 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 (ХН78Т, Х20Н80 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	цв.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 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. 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 %.