



## Раздел I. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

### Тема 1.4. Углеродистые стали и чугуны

#### Занятие №1.

##### Учебные вопросы:

1. Влияние углерода и неизбежных примесей на свойства стали
2. Классификация, марки и расшифровка маркировки углеродистых сталей

Основной продукцией черной металлургии является углеродистая сталь. Это сплав железа с углеродом, в котором содержание углерода достигает 2,14%.

В углеродистой стали промышленного производства присутствуют различные примеси, которые по условиям появления в стали подразделяют на постоянные (всегда присутствующие в стали) и случайные. Постоянные элементы — связаны с существующей технологией производства стали (Mn, Si) и невозможностью полного удаления — P, S, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>. Случайные элементы определяются составом руды металлического лома Cr, Ni, Cu, As.

Свойства сталей определяются содержанием углерода и примесей.

#### 1. Влияние углерода и неизбежных примесей на свойства стали

##### Влияние углерода на свойства стали

Структура стали после медленного охлаждения состоит из двух фаз — феррита и цементита. Количество цементита возрастает в стали прямо пропорционально содержанию углерода (0,38% C — 5% Fe<sub>3</sub>C; 0,7% C — 10% Fe<sub>3</sub>C; 2% C — 30% Fe<sub>3</sub>C). Твердые и хрупкие пластинки цементита повышают сопротивление движению дислокаций и тем самым повышают прочность, твердость, растет электросопротивление, коэрцитивная сила; понижаются пластичность, вязкость, теплопроводность, магнитная проницаемость. Повышение содержания углерода облегчает переход стали в хладноломкое состояние, каждые 0,1% C повышают температуру порога хладноломкости в среднем на 20°C.

*Хладноломкость* — склонность металла растрескиваться и ломаться при холодной механической обработке.

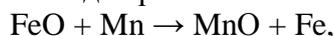
*Недостаток этот не мешает железу выносить различные механические формоизменения в нагретом состоянии, коваться, свариваться и т. д.*

##### Влияние постоянных примесей на свойства стали

Содержание постоянных примесей обычно ограничивается следующими верхними пределами: 0,8% Mn; 0,5% Si; 0,05% P; 0,05% S. При большем их содержании сталь следует относить к легированным, куда эти элементы введены специально.

*Раскисление металлов* — процесс удаления из расплавленных металлов (главным образом стали и других сплавов на основе железа) растворённого в них кислорода, который является вредной примесью, ухудшающей механические свойства металла.

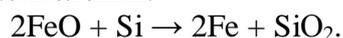
**Марганец.** Его вводят в любую сталь для раскисления:



т. е. для устранения оксида железа. Марганец хорошо растворяется в феррите и цементите. Он повышает прочность стали, практически не снижает пластичности, резко уменьшает красноломкость, т. е. хрупкость при высоких температурах, вызванную влиянием серы.



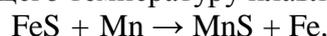
**Кремний.** Вводят в сталь для раскисления:



Кремний полностью растворим в феррите; сильно повышает предел текучести стали, что снижает способность стали к пластической деформации. В сталях, предназначенных для холодной штамповки и вытяжки, содержание кремния должно быть минимальное.

**Фосфор.** Железные руды, топливо, флюсы содержат какое-то количество фосфора, которое в процессе производства чугуна остается в нем в той или иной степени и затем переходит в сталь. Фосфор хорошо растворяется в феррите и аустените, а при высоком содержании образует фосфид  $\text{Fe}_3\text{P}$  (15,62% P). Растворяясь в феррите, фосфор искажает кристаллическую решетку и увеличивает пределы прочности и текучести стали, сильно уменьшает пластичность и вязкость; каждые 0,01% P повышают порог хладноломкости на 20...25°C. Фосфор является вредной примесью в сталях.

**Сера.** Как и фосфор, сера попадает в металл из руд, а также из печных газов — продукт горения топлива ( $\text{SO}_2$ ). Сера весьма ограниченно растворима в феррите, и практически любое ее количество образует с железом сернистое соединение — сульфид железа  $\text{FeS}$ , который входит в состав эвтектики, имеющей температуру плавления 988°C. Она располагается преимущественно по границам зерен. При нагреве стали до температуры прокатки,ковки (1000...1200°C) эвтектика расплавляется, нарушая связь между зернами. В процессе деформации в этих местах образуются надрывы и трещины. Это явление носит название **красноломкости**. Введение марганца в сталь уменьшает вредное влияние серы, так как при введении его в жидкую сталь идет образование сульфида марганца, имеющего температуру плавления 1620°C:



Частицы  $\text{MnS}$  располагаются в виде отдельных включений и при деформации вытягиваются в строчки вдоль прокатки.

Сернистые соединения сильно снижают механические свойства стали при статическом и циклическом нагружении, особенно вязкость, пластичность, предел выносливости. Сера является вредной примесью в сталях.

**Азот, кислород.** Содержатся в стали в небольших количествах, зависящих от способа производства. Они могут в газообразном состоянии находиться в различных несплошностях, в  $\alpha$ -твердом растворе, присутствовать в стали в виде хрупких **неметаллических** включений: оксидов ( $\text{FeO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и др.), нитридов ( $\text{Fe}_2\text{N}$ ,  $\text{Fe}_4\text{N}$ ,  $\text{Mn}_4\text{N}$  и др.). Азот, кислород и их соединения резко повышают порог хладноломкости, уменьшают ударную вязкость, понижают сопротивление хрупкому разрушению.

**Водород.** С железом гидридов не образует. Поглощенный при выплавке водород не только охрупчивает сталь, но приводит к образованию **флокенов** — тонких трещин овальной или округлой формы. Кроме того, водород в металл может попасть в процессе нанесения гальванических покрытий, при сварке, при контакте с водородсодержащими средами. Для снижения **водородной хрупкости** (удаления водорода) металл нагревают до 150...180°C, желательнее в вакууме при давлении порядка  $10^{-2}$ ... $10^{-3}$  мм рт. ст.

**Улучшение качества стали.** Для удаления из жидкой стали растворенных в ней газов и неметаллических включений применяют ее **вакуумную обработку**. Для этого ковш с жидкой сталью помещают в герметически закрытую камеру, где создается разрежение 267...667 Па (2...5 мм рт. ст.). Бурно выделяющиеся газы увлекают с собой и выносят из металла неметаллические включения. В течение 10...15 мин количество растворенных газов уменьшается в 3...5 раз, количество неметаллических включений — в 2...3 раза.

Для защиты металла от окисления разливку стали ведут в **инертной атмосфере**, например аргона, под слоем **синтетического шлака**. Для получения сталей особо высокого качества применяют электрошлаковый переплав (**ЭШП**), **плазменно-дуговой** переплав, электронно-лучевой переплав, электродуговой вакуумный переплав. Металл хорошо очищается (рафиниру-

ется) от газов и неметаллических включений обработкой шлаком и направленной кристаллизацией жидкого расплава, созданием глубокого вакуума.

## 2. Классификация, марки и расшифровка маркировки углеродистых сталей

**В зависимости от условий и степени раскисления различают:**

1) **спокойные** — это сталь, у которой практически не происходит выделения газов при затвердевании слитка после его разливки. Это обеспечивается полным раскислением стали — полным удалением из нее кислорода и образованием усадочной раковины в верхней части слитка. К маркировке стали добавляют буквы «сп».

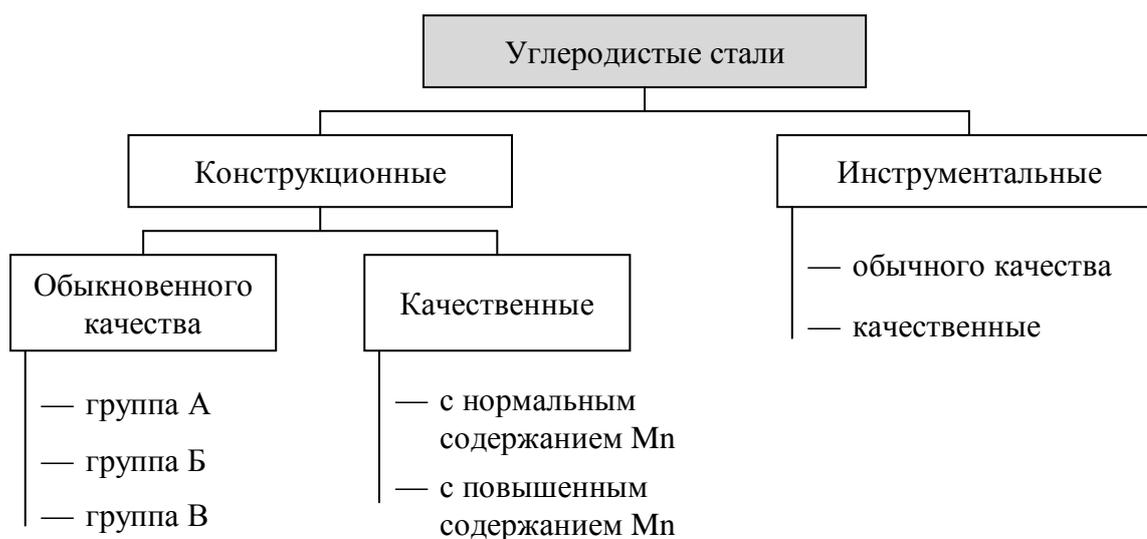
2) **кипящие** — сталь характеризуется: большой степенью выделения газов при затвердевании стали в изложнице; заметным различием химического состава по поперечному сечению слитка и между верхней и нижней частями слитка.

Выделение СО в виде пузырьков создает эффект кипения стали. В процессе кристаллизации газовые пузырьки могут остаться в слитке. Это наиболее дешевые стали с низким качеством. К маркировке стали добавляют буквы «кп».

3) **полуспокойные** — в стали выделение газов при ее раскислении подавляется не полностью, так как сталь раскисляется только частично.

По качеству и стоимости занимает промежуточное положение между спокойными и кипящими. К маркировке стали добавляются буквы «пс».

**Классификация углеродистых сталей по назначению.** Схема классификации приведена на рис. 1.1.



**Рис. 1.1.** Схема классификации углеродистых сталей

### Стали обыкновенного качества

Эти стали менее очищены от вредных примесей, содержат больше серы и фосфора, чем конструкционные качественные стали, и являются наиболее дешевыми. Стали обыкновенного качества маркируют буквами «Ст», что обозначает «сталь», после которых ставят цифры от 0 до 7 — условный номер марки стали. Затем ставят степень раскисления.

В зависимости от гарантируемых свойств и назначения стали делят на три группы.

**Группа А** — поставляется с гарантируемыми механическими свойствами. Не рекомендуется применять для изготовления ответственных сварных конструкций и деталей, подвергаемых термической обработке. Из сталей этой группы изготавливают детали крепежа (болты, гайки, шайбы и т. д.), неответственные элементы металлоконструкций (настилы, арматура, обшивки и т. д.). Марки сталей, например, Ст2пс, Ст3кп, Ст4сп. Чем больше номер, тем выше прочность и ниже пластичность.



**Группа Б** — поставляется с гарантируемым химическим составом. Перед маркой стали ставится буква «Б». Применяются для изготовления деталей, подвергаемых термической обработке (валы, оси, шестерни и др.). Для ответственных сварных конструкций — не рекомендуются, так как значения механических свойств в этой группе сталей не гарантируются. С увеличением порядкового номера стали содержание углерода в ней повышается.

**Группа В** — поставляется с гарантируемыми механическими свойствами и химическим составом по нормам групп А и Б. Перед маркой стали ставится буква «В». Применяется для изготовления сварных металлоконструкций (трубопроводы пара, воды, горючего газа; резервуары; газгольдеры; котельные аппараты; вспомогательное оборудование и др.), сортового и фасонного проката (швеллеры, уголки, тавры, двутавры и др.), деталей, подвергаемых термической обработке (валы, оси, втулки и др.).

### Качественные углеродистые стали

К этим сталям предъявляются более высокие требования по химическому составу и структуре: ограничены пределы по содержанию углерода, меньше неметаллических включений, серы и фосфора ( $S < 0,04\%$ ;  $P < 0,035 \dots 0,04\%$ ).

Качественные углеродистые стали маркируют цифрами, показывающими содержание углерода в сотых долях процента. В зависимости от содержания марганца стали делят на две группы: с нормальным и с повышенным содержанием марганца (до 1,2%, в этом случае к маркировке стали добавляют букву «Г»).

Стали I группы: 08, 10, 15, 20, 25, 30...85.

Стали II группы: 15Г, 20Г, 25Г, 30Г, 35Г...70Г.

**Низкоуглеродистые стали 08 и 10** применяют без термической обработки для малонагруженных деталей, тонколистовую сталь используют для холодной штамповки изделий. Сталь 10 применяется для изготовления элементов сварных конструкций, корпусов и трубных пучков теплообменных аппаратов, трубопроводов, змеевиков и других деталей, работающих от минус 40 до плюс 450°C, к которым предъявляются требования высокой пластичности.

Сталь 15, 20, 25 чаще применяют без термической обработки или в нормализованном состоянии. Низкоуглеродистые качественные стали используют и для ответственных сварных конструкций, а также для деталей машин, упрочняемых цементацией. Сталь 20 применяется для изготовления трубопроводов, змеевиков, труб перегревателей, трубных пучков теплообменных аппаратов и других деталей, работающих от минус 40 до плюс 475°C.

**Среднеуглеродистые стали 30...55** применяют после нормализации, улучшения и поверхностной закалки для самых разнообразных деталей во всех отраслях машиностроения. Прокаливаемость сталей невелика; критический диаметр после закалки в воде не превышает 10...12 мм. Для повышения прокаливаемости стали добавочно легируют марганцем (40Г, 50Г).

**Высокоуглеродистые стали 60...85** обладают повышенной прочностью, твердостью, износостойкостью и упругими свойствами. Их применяют после закалки и отпуска, нормализации для деталей, работающих в условиях трения при наличии высоких статических, вибрационных нагрузок. Из этих сталей изготавливают пружины, рессоры, мембраны, шпиндели станков и т. д.

### Углеродистые инструментальные стали

Маркируют стали буквой «У» (углеродистая), после которой ставят цифру, показывающую среднее содержание углерода в десятых долях процента. Для обозначения повышенного качества стали (пониженное содержание серы и фосфора  $< 0,035\%$ ) в конце маркировки ставят букву «А»; в сталях особого качества ставят две буквы «АА» ( $P$  и  $S < 0,02\%$ ). Марки инструментальных углеродистых сталей: У7, (У7А), У8 (У8А), У9 (У9А), У10 (У10А, У10АА), У11 (У11А), У12 (У12А), У13 (У13А).

Вследствие малой устойчивости переохлажденного аустенита эти стали имеют низкую прокаливаемость, поэтому их применяют для инструментов небольшого сечения.



Стали У7 и У8 (как менее хрупкие) применяются для изготовления инструментов, испытывающих динамические нагрузки: зубила, керны, бородки, топоры, отвертки и т. д. Структура стали — троостит отпуска. Под закалку сталь У7 нагревают до 800...820°C, охлаждают в воде или растворах солей, отпускают при 275...325°C. Твердость стали 48...58 HRC.

Стали У10...У13 применяют для изготовления фрез, зенкеров, ножовочных полотен, пил, напильников и т. д. Структура сталей — мартенсит отпуска. Под закалку сталь нагревают до температур 760...780°C, охлаждают в воде или водных растворах солей. Отпуск проводят при 150...170°C, твердость 62...63 HRC.

Достоинство этих сталей — хорошая обрабатываемость резанием и давлением в отожженном состоянии, низкая стоимость.

Недостаток — малая прокаливаемость, небольшой интервал закалочных температур (закалка в воде), что усиливает коробление (деформацию) инструмента. Их можно использовать в качестве режущего инструмента только для резания материалов с малой скоростью, так как при нагреве свыше 190...200°C начинается его разупрочнение (низкая красностойкость).