

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА N 7

ИЗУЧЕНИЕ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ В РАВНОВЕСНОМ СОСТОЯНИИ

Цель работы: исследовать микроструктуру углеродистых сталей в равновесном состоянии и установить связь между структурой сталей и диаграммой состояния; по микроструктуре определить марку стали; ознакомиться с маркировкой, назначением, свойствами и применением углеродистых сталей.

Приборы и материалы: микроскоп ММУ-3, травитель, спирт, фильтровальная бумага, вата, коллекция микрошлифов.

Выполнение работы рекомендуется проводить в следующем порядке:

1. По методическому указанию ознакомиться с микроструктурами сталей в равновесном состоянии и установить связь между структурой сталей и диаграммой состояния Fe-Fe₃C

Сталь – сплав железа с углеродом, в котором постоянно присутствуют примеси марганца, кремния, алюминия, фосфора, серы и газы: кислород, азот, водород. Если марганец, кремний, алюминий необходимы по условиям технологии выплавки, то сера, фосфор и газы относятся к вредным примесям, не поддающимся полному удалению. Чем меньше вредных примесей, тем выше качество стали.

Качество стали зависит от способа ее выплавки, разливки и обработки на металлургических заводах.

Углеродистые стали наиболее применимы в различных отраслях промышленности. Их доля в общем объеме производства сталей составляет ~ 80 %. Свойства сталей очень разнообразны и зависят от структуры стали.

Микроструктура углеродистых сталей в равновесном состоянии, полученная в результате оптимального нагрева и медленного охлаждения (отжига), может быть определена по диаграмме состояния железо-цементит (рис. 1).

Сплавы железа с углеродом, содержащие углерода до 0,025 %, называют **технически чистым железом**. Его структура состоит из светлых зерен феррита с хорошо видимыми темными границами (рис. 2а). Железоуглеродистые сплавы, содержащие углерода от 0,025 до 2,14 % называются **сталями**. По структуре в равновесном состоянии стали делят на доэвтектоидные, эвтектоидные и заэвтектоидные.

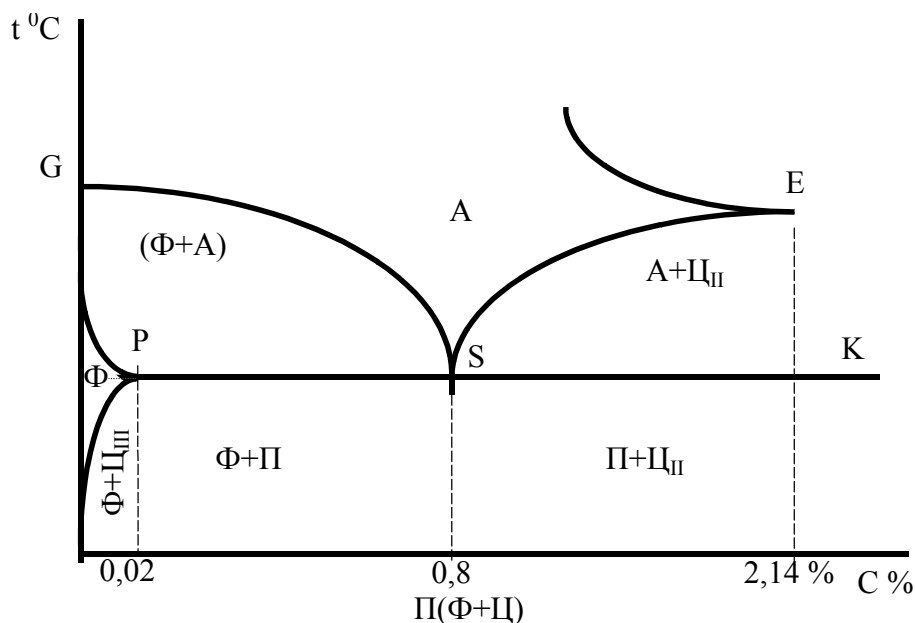


Рис. 1. Левый нижний угол диаграммы железо-цементит

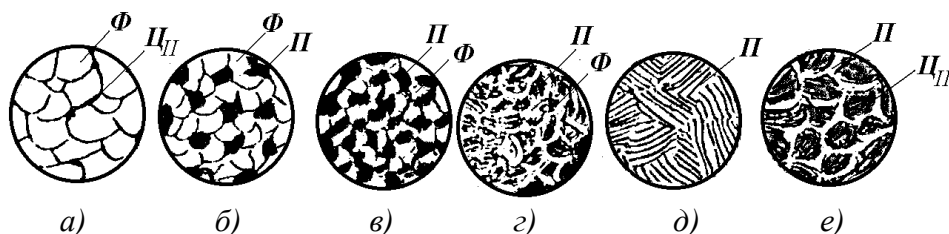


Рис. 2. Микроструктура стали в зависимости от содержания углерода:
 а – 0,01 % С; б – 0,3 % С; в – 0,5 % С; г – 0,6 % С; д – 0,8 % С; е – 1,2 % С

Доэвтектоидные стали содержат от 0,025 до 0,8 % углерода. Структура этих сталей состоит из светлых зерен феррита и темных зерен перлита (рис. 2 б, в, г). С увеличением содержания углерода уменьшается количество феррита, возрастает количество перлита.

Эвтектоидная сталь содержит 0,8 % углерода и состоит только из перлита (эвтектоидной смеси феррита и цементита), имеющего пластинчатое строение (рис. 2д).

Заэвтектоидные стали содержат от 0,8 % до 2,14 % углерода. Их структура состоит из перлита и вторичного цементита (рис. 2е). При медленном охлаждении вторичный цементит располагается по границам зерен перлита в виде сетки или ручейков белого цвета. Чтобы отличить цементит от феррита, применяют специальный реактив – пикрат натрия, который окрашивает цементит в темный цвет и совершенно не действует на феррит. Выделение вторичного цементита по границам зерен перлита нежелательно, т. к. такая структура обладает повышенной хрупкостью и плохо обрабатывается резанием. Чем больше содержание углерода, тем более широкой получается цементитная сетка и меньше образуется перлита.

Таким образом, с увеличением содержания углерода в углеродистых сталях, находящихся в равновесном состоянии, меняются их структура и

фазовый состав: уменьшается количество феррита (HB80-100), увеличивается количество цементита (HB800) и в соответствии с этим в сталях возрастают твердость HB, предел прочности σ_b , уменьшается пластичность δ и ударная вязкость KCU (рис. 3). При содержании углерода свыше 1 % предел прочности снижается, что объясняется образованием в структуре стали по границам зерен сплошной цементитной сетки.

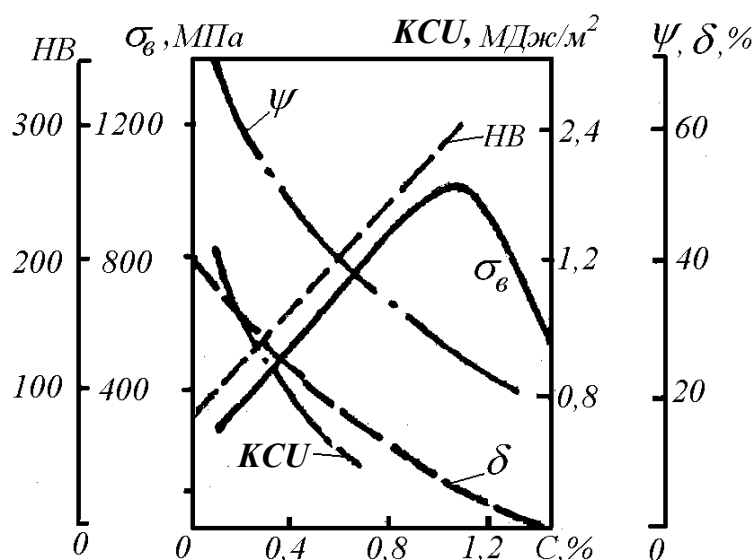


Рис. 3. Влияние углерода на механические свойства углеродистых сталей

По структуре стали, находящейся в равновесном состоянии, можно приблизительно определить содержание углерода, а затем установить марку стали. Для этого на микроструктуре, рассматриваемой под микроскопом, ориентировочно определяют площади, занимаемые перлитом, ферритом, цементитом. Принимают содержание углерода в феррите равным нулю, в 100 % перлита – 0,8 %, а в 100 % цементита – 6,67 % C.

Например, пусть в доэвтектоидной стали перлит занимает 25 % всей площади, феррит – 75 %. Тогда содержание углерода в стали можно определить из пропорции:

$$100 \% \text{ перлита} - 0,8 \% \text{ C},$$

$$25 \% \text{ перлита} - x \% \text{ C, откуда}$$

$$X = \frac{25 \cdot 0,8}{100} = 0,2 \% \text{ C}.$$

Такое содержание углерода имеет конструкционная сталь марки 20. По структуре заэвтектоидной стали не рекомендуется определять содержание углерода, так как с увеличением его содержания мало изменяется площадь, занимаемая цементитом, и можно сделать грубую ошибку в расчете.

Что же представляют из себя структурные составляющие углеродистых сталей: феррит, перлит, цементит и аустенит?

Микроструктура феррита (Ф) дана на рис. 2а. Это почти чистое железо, модификации Fe_α с решеткой объемно-центрированного куба – ОЦК, в котором растворяется 0,006 % С. При повышении температуры растворимость углерода увеличивается до 0,02 % С. Это самая мягкая структурная составляющая сталей (HB80 – 100, $\sigma_b \approx 250$ МПа, $\delta \approx 50$ %, $\psi \approx 80$ %); стали с высоким содержанием феррита легко деформируются, но плохо обрабатываются резанием.

На рис. 2д дана **микроструктура перлита (П)**. Перлит присутствует во всех сталях. Из одного перлита состоит сталь с содержанием углерода 0,8 %. Перлит – это эвтектоид – смесь феррита и цементита, получающаяся при распаде аустенита с 0,8 % С. При травлении шлифа стали 0,8 % С, т. е. эвтектоидной стали, поверхность имеет перламутровый отлив, в связи с чем такую структуру и назвали перлитом.

В зависимости от режима отжига перлит имеет пластинчатое или зернистое строение.

Пластинчатым перлитом называют эвтектоидную смесь, в которой в кристаллах феррита равномерно распределены, чаще всего слегка изогнутые, параллельно расположенные, кристаллы цементита пластинчатой формы.

При больших увеличениях (в 500 – 1000 раз) при рассмотрении в оптический микроскоп пластинчатое строение различимо всегда. При меньших увеличениях пластинчатое строение различимо только при достаточной толщине, а если перлит тонкопластинчатый, то зерна перлита при рассмотрении в микроскоп имеют однородный темный цвет.

Пластинчатая форма перлита образуется при нагреве углеродистых сталей выше температур линии GSE и медленном охлаждении.

Зернистым перлитом называют эвтектоидную смесь, в которой в кристаллах перлита равномерно распределены округлые (глобулярные) кристаллы цементита. Образуется при нагреве стали выше температур линии PSK и медленном охлаждении.

Строение зернистого перлита хорошо выявляется при средних (300 – 400 раз) и даже меньших увеличениях.

Механические свойства перлита зависят от размера (в случае пластинчатого перлита от толщины) кристалла цементита, возрастая с увеличением дисперсности строения, а также от формы кристалла цементита. Перлит пластинчатый характеризуется более высокой твердостью и прочностью (твердость перлита пластинчатого 180-250 HB $\sigma_b \approx 550-820$ МПа; $\delta \approx 5-15$ %; твердость перлита зернистого 160-220 HB; $\sigma_b \approx 630$ МПа, $\delta \approx 20$ %).

Цементит (Ц) – это химическое соединение Fe_3C – карбид железа. В цементите 6,67 % С. Характеризуется очень высокой твердостью (~ 800 HB) и практически нулевой пластичностью ($\delta \approx 0$ %), т. е. хрупкий. Чем больше цементита в сталях, тем большей твердостью и меньшей пластичностью они обладают.

Аустенит (А) – структурная составляющая, появляющаяся в углеродистой стали только при нагреве выше 727°C (см. рис. 1). Это раствор углерода в другой модификации железа – Fe_{γ} с решеткой гранецентрированного куба (ГЦК). Аустенит пластичен, твердость его 160 – 200 НВ, $\delta \approx 40 - 50 \%$, поэтому хорошо куется, штампуется, прокатывается.

2. Ознакомиться с классификацией и маркировкой углеродистых сталей

Каждая партия стали сопровождается документом (сертификатом), который удостоверяет соответствие стали заказу и требованиям ГОСТов или технических условий (ТУ).

В сертификате, в частности, должны содержаться следующие сведения – марка стали, ее химический состав; номер соответствующего стандарта (ГОСТа, ТУ); номер плавки и номер партии; результаты всех испытаний, предусмотренных стандартом; данные о группах и категориях стали по свойствам, по назначению, качеству поверхности и др.

По назначению углеродистые стали разделяют на конструкционные, инструментальные и специального назначения.

Конструкционные углеродистые стали по качеству бывают обыкновенного качества и качественные; инструментальные – качественные и высококачественные.

Стали углеродистые обыкновенного качества маркируют сочетанием букв "Ст" – сталь и цифрой (от 0 до 6) – условный номер стали. С увеличением номера возрастает содержание углерода, повышаются прочностные характеристики и одновременно снижается пластичность. Для обозначения степени раскисления после номера марки ставятся индексы: кп- кипящая, пс- полуспокойная, сп- спокойная (например: Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп).

В обозначении марки качественной конструкционной стали две цифры указывают среднее содержание в ней углерода в сотых долях процента. Например, сталь 20 – (0,17-0,22 % С) – $\sim 0,2 \%$ С, сталь 45 – (0,42-0,5%) – $\sim 0,45 \%$ С.

Степень раскисления в марках спокойных сталей не отражается, а в марках полуспокойных и кипящих сталей, как и сталей обыкновенного качества, обозначается буквами "пс" и "кп" соответственно. В качественных конструкционных сталях всех марок допускается содержание серы не более 0,040 % и фосфора – не более 0,035 %.

Для обозначения инструментальных углеродистых сталей используется буква У. Содержание углерода указывается в десятых долях процента. Буква А, стоящая в конце марки стали, указывает, что сталь является высококачественной. Например, У7 – сталь инструментальная, углеродистая с содержанием углерода 0,7 %, У13А – сталь инструментальная углеродистая, среднее содержание углерода 1,3 %, высококачественная.

3. Ознакомиться с назначением и применением углеродистых сталей

Углеродистые стали обыкновенного качества (ГОСТ 380-94) относятся к числу наиболее дешевых и широко применяемых. Из них получают до 70 % всего проката – горячекатанного, сортового и фасонного, толсто- и тонколистового. Из этих сталей изготавливают трубы, поковки, штамповки, ленту, проволоку, металлические изделия (метизы): гвозди, канаты, сетки, болты, гайки, заклепки, а также мало- и средненагруженные детали, штифты, шайбы, шпонки, крышки, кожухи, а из стали номеров 4-6 – валы, винты, зубчатые колеса и шпиндели. Стали обыкновенного качества хорошо свариваются и обрабатываются резанием.

Из углеродистых качественных конструкционных сталей (ГОСТ 1050-88) производят прокат, поковки, калиброванную сталь, сталь серебрянку, сортовую сталь, штамповки и слитки. Эти стали являются основным материалом для изготовления таких деталей машин, как валы, шпиндели, оси, зубчатые колеса, шпонки, муфты, фланцы, фрикционные диски, винты, гайки, упоры, тяги, цилиндры гидроприводов, эксцентрики, звездочки цепных передач, т. е. деталей различной степени нагружения. Они хорошо обрабатываются давлением и резанием, льются и свариваются, подвергаются термической, термомеханической и химико-термической обработке. Различные специальные виды обработки обеспечивают вязкость, упругость и твердость сталей, позволяют делать из них детали, вязкие в сердцевине и твердые снаружи, что резко увеличивает их износостойкость и надежность.

Качественные конструкционные стали обладают более высокими механическими свойствами, чем стали обыкновенного качества, за счет меньшего содержания в них фосфора, серы и неметаллических включений. Но они на 10-15 % дороже сталей обыкновенного качества, поэтому используются преимущественно для изготовления более нагруженных деталей. По видам обработки их делят на горячекатанную, кованую, калиброванную и серебрянку (со специальной отделкой поверхности).

ГОСТ 1050-94 предусматривает следующие марки качественных конструкционных сталей: 05кп, 08кп, 08пс, 08, 10кп, 10пс, 10, 11кп, 15кп, 15пс, 18кп, 20кп, 20пс, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 58 (55пп), 60. В стали 58 (55ПП) буквы обозначают пониженную прокаливаемость.

Из инструментальных углеродистых сталей (ГОСТ 1435-90) получают горячекатаную, кованую и калиброванную сталь, сталь серебрянку, сталь для сердечников, а также слитки, листы, ленту, проволоку и другую продукцию. Из этих сталей изготавливают режущий инструмент, штампы для холодного деформирования.

В качественных инструментальных углеродистых сталях допускается содержание 0,03 % серы и 0,035 % фосфора, в высококачественных – 0,02 % серы и 0,03 % фосфора. Стали, полученные методом электрошлакового переплава, содержат до 0,015 % серы.

Инструментальная сталь должна обладать высокой твердостью, значительно превышающей твердость обрабатываемого материала, износостойкостью и теплостойкостью (способностью сохранять свойства при высоких температурах). Измерительный инструмент, изготовленный из такой стали, должен быть твердым и длительное время сохранять заданные размеры и форму. Рабочие детали штампов и накатных роликов для холодного деформирования (вытяжки, гибки, высадки, пробивки отверстий, накатки, раскатки), сделанные из этой стали, должны иметь высокую твердость, обладать износостойкостью при достаточной вязкости. Все это достигается путем закалки с отпуском, а для измерительного инструмента и за счет искусственного старения.

Из стали У9 производят деревообрабатывающий режущий инструмент (сверла, фрезы, ножи) и ножовочные полотна для обработки стали. Металлорежущий инструмент (фасонные резцы, сверла, метчики, плашки, развертки, фрезы, напильники и ходовые винты прецизионных станков) изготавливают из сталей У10, У11 и У12, бритвенные ножи, лезвийный хирургический инструмент и напильники – из стали У13, слесарные молотки, зубила, губки тисков – из сталей У7 и У8, шаблоны, скобы, детали микрометрического инструмента, гладкие и резьбовые калибры, цанги, фрикционные диски, штампы, пружины и др. – из сталей У8, У9 и У10. Как правило, изготовлению инструмента предшествуют отжиг на зернистый цемент, который способствует лучшей обрабатываемости резанием и уменьшает коробление деталей при закалке.

К углеродистым сталям специального назначения относятся рессорно-пружинные (ГОСТ 14959-79). Они выпускаются следующих марок: 65, 70, 75, 80, 85. Цифры показывают среднее содержание углерода в сотых долях процента. Стали нелегированные для отливок (ГОСТ 977-79) 15Л, 20Л, ..., 55Л используются для изготовления литых деталей, в том числе коленчатых валов (40Л, 45Л). В марке цифры соответствуют среднему содержанию углерода в сотых долях процента, буква Л означает сталь литейная.

Стали повышенной и высокой обрабатываемости резанием (автоматные) согласно ГОСТ 1414-75 выпускаются следующих марок:

- углеродистые сернистые (0,15-0,30 % S; 0,8-1,55 % Mn) – А12, А20, А30, А35, А40, А40Г;
- свинцовосодержащие (0,04-0,10 % Pb) – АС40, АС35Г и др.;
- сернистоселеновые с комплексным легированием S(0,09 %) и Se(0,07 %) – А35Е, А45Е и др.;
- кальцийсодержащие (0,2-0,35 % С; 0,04-0,07% S; 0,003-0,009 % Ca) – АЦ20 и др.

В марке буква А указывает, что сталь автоматная, цифры после нее показывают содержание углерода в сотых долях процента, затем следуют буквы, соответствующие легирующему элементу и цифры после них, показывающие его содержание. Введение серы или серы совместно с другими элементами (селен, кальций) приводит к образованию по границам зерен ферритно-перлитной структуры сульфидов марганца MnS и кальция, селенидов или свинца – это облегчает резание, способствует дроблению и

легкому отделению стружки; увеличивается срок службы режущего инструмента, улучшается качество обрабатываемой поверхности изделий. Из этих сталей изготавливают мелкие детали массового спроса: детали швейных, текстильных, счетных, пишущих машин; оси, валики, втулки, шестерни, винты, болты, гайки и другие детали, к которым предъявляются повышенные требования к шероховатости поверхностей и точности размеров. Автоматные стали по содержанию углерода – доэвтектоидные. В них (АС12ХН, АЦ20ХНМ и большинство других) введены легирующие элементы, позволяющие получать однородную структуру при термической обработке в любых по толщине деталях.

4. Экспериментальная часть

Изучить коллекцию углеродистых сталей, зарисовать схематично микроструктуры и по графику (рис. 3) определить прочность каждой марки стали. Установить связь между структурами сталей и диаграммой железо-цементит.

5. Содержание отчета

1. Левый нижний угол диаграммы железо-цементит и характеристику фаз, составляющих структуру стали.
2. Назначение и маркировку углеродистых сталей.
3. Рисунки микроструктур сталей с указанием структурных составляющих.

6. Контрольные вопросы

1. Структурные составляющие сталей и их свойства.
2. Классификация углеродистых сталей по структуре, по назначению и по качеству.
3. Маркировка углеродистых сталей.
4. Назначение и применение углеродистых сталей.
5. Связь структуры и марки стали с диаграммой состояния железо-цементит.