

ВВЕДЕНИЕ

Цикл лабораторных работ по изучению микроструктуры и свойств железоуглеродистых сплавов состоит из четырех отдельных тем:

1. Изучение равновесных микроструктур и свойств углеродистых сталей.
2. Изучение микроструктуры и свойств чугунов.
3. Изучение неравновесных микроструктур и свойств углеродистых сталей.
4. Изучение микроструктуры и свойств легированных сталей.

Целью цикла лабораторных работ по темам 1, 2, 3, 4 является освоение методики металлографических исследований, изучение равновесных микроструктур и свойств углеродистых сталей, изучение микроструктуры и свойств чугунов, неравновесных микроструктур и свойств углеродистых сталей, микроструктуры и свойств легированных сталей.

Материальное обеспечение: металлографические микроскопы МИМ-7 и МИМ-8, микрошлифы сталей и чугунов, плакаты, фотографии микроструктур, справочная литература.

При выполнении цикла лабораторных работ студент должен ознакомиться с методическими указаниями, настроить микроскоп для визуального наблюдения и рассмотреть микроструктуры исследуемых материалов, составить отчет в соответствии с его содержанием, указанным для каждой из четырех тем, по форме, приведенной в таблице.

Таблица. **Форма отчета**

№ п.п.	Марка материала, термообработка	Зарисовка микроструктуры	Химический состав, % <i>C, Mn, Si, S, P</i> , легирующие элементы	Механические свойства: <i>HRC; HB, σ_B, σ_T</i> , МПа; δ , %; <i>KCU</i> , МДж/м ²	Применение

Химический состав, механические свойства и применение некоторых конструкционных материалов даны в прил. 1, 2, 3.

ТЕМА 1. РАВНОВЕСНЫЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И СВОЙСТВА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Цель работы: получить навыки определения и исследования микроструктуры углеродистых сталей и установить взаимосвязь между содержанием углерода их микроструктурами, химическим составом и свойствами.

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с методическими указаниями по данной теме.
2. Настроить микроскоп для визуального наблюдения и рассмотреть микроструктуры исследуемых материалов.
3. Составить отчет по форме (см. таблицу, стр. 3).

Содержание отчета:

1. Заполнить форму отчета.
2. Дать характеристику равновесных микроструктур углеродистых сталей 05кп, 45, 65, У8, У10.
3. Описание взаимосвязи между содержанием углерода, микроструктурой и свойствами углеродистых сталей.

МЕТОДИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Сплавы железа с углеродом, содержащие 0,02...2,14% углерода, называются **сталями**. На диаграмме состояния железо-цементит (рис. 1) сплавы, относящиеся к сталям, расположены левее точки *E*.

Равновесные микроструктуры углеродистых сталей получают после отжига (охлаждение вместе с печью) или нормализации (охлаждение на воздухе).

При температурах ниже 727 °С все отожженные углеродистые стали состоят из двух фаз – феррита и цементита.

Феррит (Ф) – твердый раствор углерода в железе с объемно-центрированной кубической решеткой (Fe_α), в котором растворяется 0,006% углерода (С). При повышении температуры растворимость углерода увеличивается до 0,02%. Это самая мягкая структурная составляющая сталей ($HB = 700 \dots 800$ МПа). Стали с высоким содержанием феррита легко деформируются, но плохо обрабатываются резанием.

Цементит (Ц) – химическое соединение – карбид железа Fe_3C , содержащее 6,67 % С. Цементит – самая твердая ($HB > 8000$ МПа), прочная ($\sigma_B \approx 20000$ МПа) и очень хрупкая структура ($\delta = 0$ %, $KCU \approx 0$ МДж/м²).

При температурах выше 727 °С (линия GSE) присутствует еще одна равновесная фаза – аустенит.

Аустенит (А) – это твердый раствор углерода в железе с гранцентрированной кубической решеткой (Fe_γ). Предельная растворимость углерода в Fe_γ – до 2,14 % (точка E).

В результате фазовых превращений в твердом состоянии, при малых скоростях охлаждения, в сталях будут образовываться следующие структуры: перлит, избыточный феррит, вторичный цементит и третичный цементит.

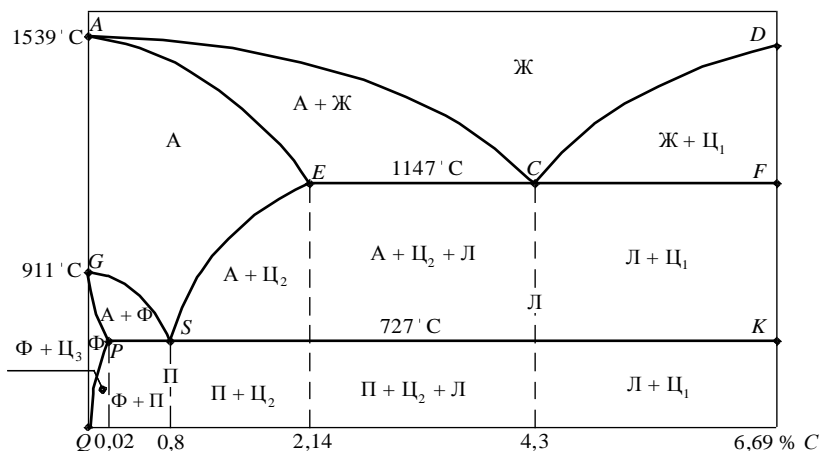


Рис.1. Диаграмма состояния железо-цементит:

- Ж – жидкий раствор; А – аустенит (твердый раствор углерода в Fe_γ);
- Ц – цементит (Fe_3C); Ф – феррит (твердый раствор углерода в Fe_α);
- П – перлит (эвтектоидная смесь феррита и цементита);
- Л – ледебурит (эвтектическая смесь аустенита и цементита, а ниже линии PSK – смесь перлита и цементита).

Ниже линии GS в результате полиморфного превращения железа часть аустенита превращается в феррит с последующим перераспределением углерода между этими фазами. На линии SE из аустенита начинает выделяться избыточный углерод с образованием вторичного цементита. На линии PQ из феррита выделяется третичный цементит. Во всех сплавах правее точки P при небольшом переохлаждении до температур ниже 727 °С аустенит эвтектоидного состава (0,8 % C) распадается на эвтектоидную смесь чередующихся пластинок, или зерен феррита и цементита, образующих перлит.

Перлит (П) – это механическая смесь феррита и цементита, содержащая 0,8 % *C*. 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.

С уменьшением размера цементитных частиц твердость и прочность перлита возрастает. Структура перлита определяет и обрабатываемость стали при резании. Доэвтектоидная сталь хорошо обрабатывается резанием, если перлит имеет пластинчатую структуру, а эвтектоидная и заэвтектоидная стали – если перлит зернистый.

Металлографический анализ металлов и сплавов заключается в исследовании структуры материалов при больших увеличениях с помощью микроскопа, а наблюдаемая в микроскопе структура называется **микроструктурой**. Изучение под микроскопом структуры металлов возможно лишь при достаточно интенсивном отражении световых лучей от исследуемой поверхности. Поэтому поверхность образца должна быть специально подготовлена. Образец, поверхность которого подготовлена для металлографического анализа, называется **микршлифом**.

Сплавы железа с углеродом, содержащие до 0,02% *C*, называют **техническим железом**. Равновесная микроструктура технического железа состоит из светлых зерен феррита (рис. 2, *a*) с темными границами в виде тонкой сетки. По границам зерен может располагаться углерод и третичный цементит. Аналогичную микроструктуру будет иметь и сталь 05кп, так как она тоже содержит небольшое количество углерода.

По микроструктуре в равновесном состоянии углеродистые стали делятся на доэвтектоидные, эвтектоидные и заэвтектоидные. Микроструктура стали зависит от содержания в ней углерода. Сталь, содержащая 0,8 % *C*, называется **эвтектоидной**. Стали, содержащие менее 0,8 % *C*, называют **доэвтектоидными**, а стали, содержащие более 0,8 % *C*, – **заэвтектоидными**.

Равновесная микроструктура доэвтектоидных сталей состоит из светлых зерен феррита и темных зерен перлита (рис. 2, *б* и *в*). С увеличением содержания в стали углерода уменьшается количество феррита и возрастает количество перлита. По наличию перлита в доэвтектоидной стали можно примерно определить в ней содержание углерода. Процент углерода можно подсчитать, предполагая, что весь углерод

находится в перлите, так как растворимость углерода в феррите очень мала. При содержании в стали 0,8% углерода количество перлита равно 100%. Следовательно, если определить с достаточной точностью площадь, занятую перлитом, то содержание углерода в доэвтектоидной стали можно определить по формуле:

$$C = \frac{0,8 \cdot F}{100}, \quad (1)$$

где C – содержание углерода в доэвтектоидной стали %;

F – площадь перлита в процентах ко всей рассматриваемой площади микрошлифа.

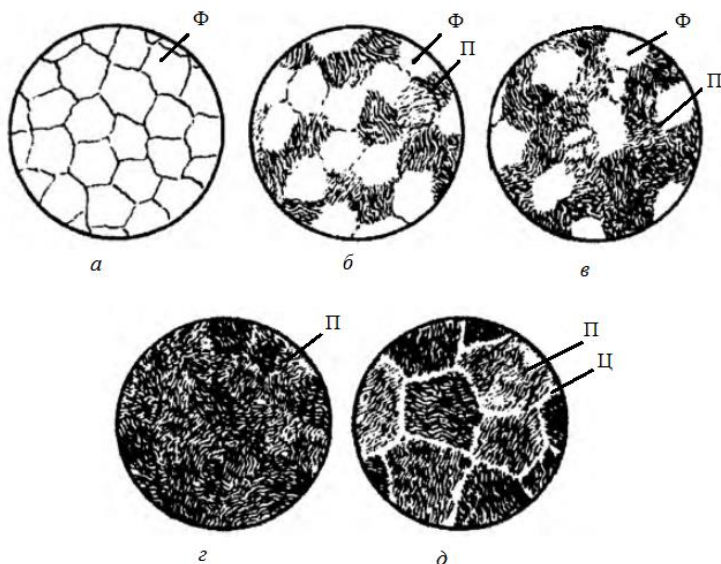


Рис. 2. Равновесные микроструктуры углеродистых сталей, $\times 360$:
a – техническое железо; *б* – сталь 45; *в* – сталь 65; *г* – сталь У8; *д* – сталь У10

Площадь перлита и феррита в доэвтектоидной стали примерно определяется при визуальном рассмотрении микроструктуры или точно по ее фотографии. В доэвтектоидной стали перлит в большинстве случаев имеет пластинчатое строение. Темные пластинки, видимые в перлите, представляют собой тени, отбрасываемые на участки феррита, выступающими после травления участками цементита.

Равновесная микроструктура эвтектоидной стали состоит только из перлита, имеющего пластинчатое (рис. 2, *з*) или зернистое строение.

Равновесная микроструктура заэвтектоидных сталей состоит из перлита и вторичного цементита (рис. 2, *д*). Цементит может располагаться в виде сетки, ручейков, игл или зерен светлого цвета. После травления микрошлифа 4%-ным раствором HNO_3 в спирте цементит под микроскопом имеет светлый цвет, как и феррит. Для того, чтобы отличить цементит от феррита, необходимо произвести травление микрошлифа специальным реактивом – пикратом натрия. В этом случае цементит окрасится в темный цвет. С увеличением количества вторичного цементита в заэвтектоидной стали увеличивается содержание углерода. Однако по микроструктуре 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.

Структура перлита в доэвтектоидных и заэвтектоидных сталях определяется условиями выполнения отжига. Форма и размер частиц цементита в перлите существенно влияют на его свойства. Так, например, перлит с зернистой структурой более пластичен и имеет меньшую твердость, чем пластинчатый. Твердость зернистого перлита $HB = 1600 \dots 2200$ МПа, ($\sigma_b = 650$ МПа, $\delta = 18 \dots 25$ %), а пластинчатого – $HB = 2000 \dots 2500$ МПа, ($\sigma_b = 850$ МПа, $\delta = 9 \dots 12$ %).

С уменьшением размера цементитных частиц твердость и прочность перлита возрастает. Структура перлита определяет и обрабатываемость стали при резании. Доэвтектоидная сталь хорошо обрабатывается резанием, если перлит имеет пластинчатую структуру, а эвтектоидная и заэвтектоидная стали – если перлит зернистый.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. После какой термообработки получают равновесные микроструктуры углеродистых сталей?
2. Дайте определение и характеристику механических свойств феррита, аустенита, цементита, перлита.
3. Нарисуйте равновесные микроструктуры углеродистых сталей с различным содержанием углерода.
4. Сколько углерода содержат эвтектоидная, доэвтектоидные и заэвтектоидная стали?
5. Изложите методику определения содержания углерода по микроструктуре стали.
6. Как влияет содержание углерода на свойства стали?

ТЕМА 2. МИКРОСТРУКТУРЫ И СВОЙСТВА ЧУГУНОВ

Цель работы: получить навыки определения вида чугуна (белый, серый, ковкий, высокопрочный) по его микроструктуре, оценить механические свойства и установить область применения исследуемых чугунов.

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с методическими указаниями по данной теме 2.
2. Настроить микроскоп для визуального наблюдения и рассмотреть микроструктуры исследуемых чугунов.
3. Составить отчет по форме (см. таблицу, стр. 3).

Содержание отчета:

1. Заполнить форму отчета.
2. Описание формы графита серых, ковких и высокопрочных чугунов, их получение.
3. Влияние структуры сталистой основы и формы графита на свойства белых, серых, ковких и высокопрочных чугунов.

МЕТОДИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Чугун – это железоуглеродистый сплав с содержанием углерода от 2,14 до 6,69%. Кроме этих элементов, в чугуне содержится ряд примесей [кремний (*Si*), марганец (*Mn*), сера (*S*), фосфор (*P*)]. С целью улучшения свойств в чугуны могут вводиться легирующие элементы, такие как хром (*Cr*), никель (*Ni*), медь (*Cu*) и др. Чугуны имеют хорошие технологические, физико-механические и эксплуатационные свойства, широко применяются для изготовления различных деталей сельскохозяйственной техники.

Чугун, по сравнению со сталью имеет и преимущества и недостатки. Положительными свойствами этого материала являются:

- 1) хорошие литейные свойства (более низкая, чем у стали, температура плавления, меньшая усадка, хорошая жидкотекучесть);
- 2) хорошая обрабатываемость резанием (кроме одной разновидности – белого чугуна);
- 3) высокая прочность при сжатии, высокое значение предела выносливости при кручении (у высокопрочного чугуна даже на 20...30 % больше, чем у стали), хорошие антифрикционные свойства (графит выполняет роль смазки) высокая работоспособность в условиях трения, способность гасить вибрации, небольшая стоимость.

Недостатком чугуна являются его низкие пластические свойства и ударная вязкость, что препятствует использованию чугуна для изго-

товления деталей, работающих при значительных динамических, ударных нагрузках, и делает невозможным обработку давлением (ковку, штамповку, прокатку и т. д.).

В зависимости от состояния углерода, на которое влияют содержание примесей, скорость охлаждения и термообработка, чугуны бывают **белые, серые, ковкие и высокопрочные**.

Белые чугуны содержат углерод в виде цементита (химического соединения Fe_3C – карбида железа). Структура белых чугунов описывается чугуновой частью диаграммы железо-цементит (рис. 1). Согласно диаграмме, существуют три разновидности белых чугунов: **доэвтектический** (2,14...4,3% C) со структурой перлит, ледебурит и вторичный цементит; **эвтектический** (4,3% C) со структурой ледебурит и **заэвтектический** (4,3...6,67% C) со структурой ледебурит и первичный цементит.

На рис. 3 приведены микроструктуры эвтектических (а) и заэвтектических (б) белых чугунов. Получению таких микроструктур в белых чугунах способствуют повышенное содержание в них марганца и быстрое охлаждение. Белые чугуны имеют большую твердость ($HB = 7000...8000$ МПа), низкие показатели пластичности (относительное удлинение δ , ударную вязкость KCU), плохо обрабатываются резанием. Белые или отбеленные чугуны применяются для изготовления валков прокатных станов, катков дорожных машин, колес железнодорожных вагонов, шаров мельниц, лемехов плугов и других деталей машин.

Серые чугуны имеют ферритную, ферритно-перлитную или перлитную сталистую основу и пластинчатый графит (рис. 3, в). Серые чугуны получают при отливке изделий и их медленном охлаждении, а для лучшей графитизации требуется увеличивать содержание кремния.

Пластинчатая форма графита резко снижает прочность и ударную вязкость серых чугунов. Поэтому в жидкий расплав серых чугунов вводят модификаторы (ферросилиций, силикокальций, алюминий), которые раскисляют чугуны, образуют мелкие взвешенные тугоплавкие частички окислов SiO_2 , CaO , Al_2O_3 , являющиеся центрами кристаллизации графита, способствуют измельчению пластинчатого графита, образуя при этом перлитную основу.

Обозначаются серые чугуны буквами СЧ, после которых ставится цифра, показывающая предел прочности при растяжении. Например, СЧ 20 ($\sigma_B = 200$ МПа). Чугуны СЧ 30 и СЧ 35 являются модифицированными. Серые чугуны имеют хорошие литейные и антифрикционные свойства, хорошую обрабатываемость резанием,

нечувствительность к надрезам, способность гасить вибрации. Применяются для изготовления корпусных деталей, станин станков, блоков двигателей, гильз цилиндров, поршней, поршневых колец, втулок клапанов, подшипников скольжения и других деталей.

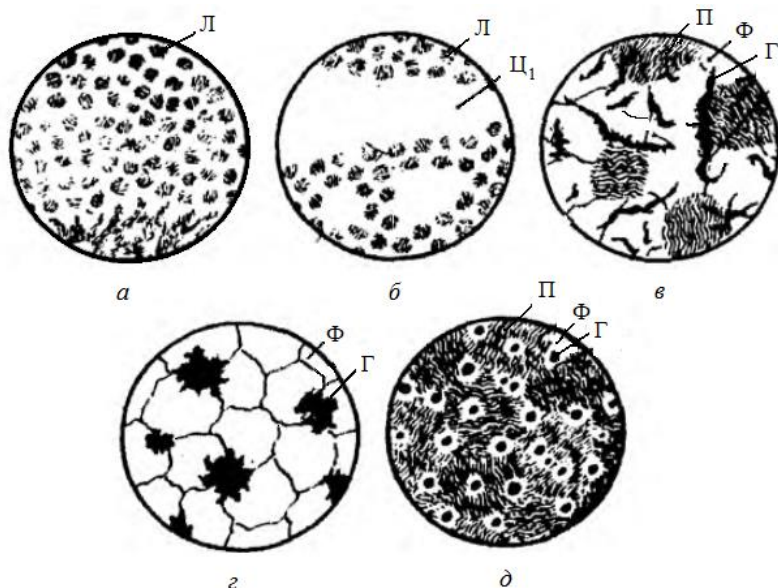


Рис. 3. Микроструктуры чугунов, $\times 360$:

a – белый чугун эвтектический, $C = 4,3\%$; *б* – белый чугун заэвтектический, $C = 5,5\%$;
в – серый чугун СЧ 20; *г* – ковкий чугун КЧ 37-12; *д* – высокопрочный чугун ВЧ 50

Ковкие чугуны имеют ферритную, ферритно-перлитную или перлитную сталистую основу и хлопьевидный графит (рис. 3, *г*), их получают отжигом отливок из белого доэвтектического чугуна при температуре $950...1000^{\circ}\text{C}$ в течение 10 ч и более. Ковкие чугуны не куются, но имеют высокую пластичность.

Обозначаются ковкие чугуны буквами КЧ. После них стоят цифры показывающие предел прочности при растяжении, и цифры показывающие относительное удлинение. Например, КЧ 37-12 ($\sigma_{\text{в}} = 370 \text{ МПа}$, $\delta = 12\%$). Применяются для изготовления картеров рулевого механизма и картеров заднего моста некоторых автомобилей, пальцев режущих аппаратов косилок и жаток, звездочек сельхозмашин, деталей

предохранительных муфт зерно- и картофелеуборочных комбайнов, вилок карданов и других деталей, работающих в условиях динамических нагрузок и имеющих небольшие размеры.

Высокопрочные чугуны имеют ферритную, ферритно-перлитную или перлитную сталистую основу и шаровидный графит (рис.3, д), их получают модифицированием расплавленного чугуна перед разливкой магнием или церием и ферросилицием. Высокопрочные чугуны с шаровидным графитом имеют менее ослабленную сталистую основу, высокие механические свойства, хорошие литейные свойства, обрабатываемость резанием, износостойкость, способность гасить вибрации.

Высокопрочный чугун эффективно заменяет сталь во многих изделиях. Применяется для изготовления прокатных валков, рабочих клетей прокатных станов, станин молотов, станин металлорежущих станков, корпусных деталей двигателей, коленчатых валов и других ответственных деталей машин.

Согласно государственным стандартам высокопрочный чугун маркируется ВЧ 35, ВЧ 40, ВЧ 45, ВЧ 50, и т.д. (буквы «ВЧ» обозначают высокопрочный чугун, а цифры – минимальное значение предела прочности при растяжении в МПа). Например, ВЧ 35 – высокопрочный чугун $\sigma_B = 350$ МПа.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Маркировка и область применения белых, ковких, высокопрочных и серых чугунов.
2. Нарисуйте и назовите форму графита серых, ковких и высокопрочных чугунов.
3. Особенности получения белых, серых, ковких и высокопрочных чугунов.
4. От чего зависят механические свойства белых, серых, ковких и высокопрочных чугунов?
5. Какова микроструктура сталистой основы серых, ковких и высокопрочных чугунов?
6. Где используют высокопрочные чугуны с шаровидным графитом?
7. Для изготовления, каких деталей используют ковкие чугуны?
8. Какой чугун рекомендуется для ответственных отливок?

ТЕМА 3. НЕРАВНОВЕСНЫЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И СВОЙСТВА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Цель работы: получить навыки определения и исследования неравновесных микроструктуры углеродистых сталей и установить взаимосвязь между содержанием углерода их микроструктурами и свойствами.

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с методическими указаниями по теме 3.
2. Настроить микроскоп для визуального наблюдения и рассмотреть микроструктуры исследуемых материалов.
3. Составить отчет по форме (см. таблицу, стр. 3).

Содержание отчета:

1. Заполнить форму отчета.
2. Характеристика неравновесных микроструктур углеродистых сталей.
3. Описание взаимосвязи между содержанием углерода, неравновесной микроструктурой и свойствами углеродистых сталей.

МЕТОДИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Свойства стали, особенно механические, зависят от химического состава и структуры стали. Желаемое изменение структуры и механических свойств достигаются термической обработкой.

Неравновесные микроструктуры углеродистых сталей получаются после закалки в воде и других охлаждающих средах, и последующего отпуска.

Различные структуры стали формируются в процессе ее охлаждения из аустенитного состояния. Полнота фазовых превращений зависит от скорости охлаждения.

Аустенит при термообработке стали в зависимости от скорости охлаждения может превращаться в различные микроструктуры: мартенсит, троостит, сорбит, перлит, перлит+феррит, феррит, остаточный аустенит.

Самой твердой микроструктурой является **мартенсит**. Различают мартенсит закалки и мартенсит отпуска (тетрагональный и отпущенный). Закалка сопровождается возникновением в изделиях значительных внутренних напряжений, которые могут вызвать коробление и даже трещины в закаленных изделиях. Внутренние напряжения снимаются в процессе отпуска. Поэтому закаленные детали и ин-

струменты всегда подвергают отпуску. В процессе отпуска снимаются внутренние напряжения, из структур, полученных при закалке, образуются структуры отпуска (мартенсит, троостит и сорбит), которые отличаются по своему строению от аналогичных структур закалки.

Мартенсит закалки – пересыщенный твердый раствор углерода α -железе. Он имеет тетрагональную кристаллическую решетку. При рассмотрении под микроскопом микроструктуры стали 45 после закалки в воде на темном фоне остаточного аустенита видны светлые иглы мартенсита (рис. 4, а). Механические свойства тетрагонального мартенсита: твердость $HB = 5000...6500$ МПа, ударная вязкость $KCU = 0,3...0,5$ МДж/м². Мартенсит закалки почти не применяется при изготовлении деталей, так как эта микроструктура имеет большие внутренние напряжения и низкую ударную вязкость.

Мартенсит отпуска – смесь когерентно сопряженных кристаллических решеток частиц ϵ -карбидов и малоуглеродистого мартенсита. Он образуется в результате низкого отпуска стали, предварительно закаленной на мартенсит. При рассмотрении отпущенного мартенсита под микроскопом видны темные иглы (рис. 4, б). Такое изменение цветов тетрагонального и отпущенного мартенсита объясняется тем, что при отпуске из тетрагонального мартенсита выделяются высокодисперсные частицы ϵ -карбида, решетка которого когерентно сопряжена с решеткой малоуглеродистого мартенсита.

Механические свойства отпущенного мартенсита близки к свойствам мартенсита закалки.

Мартенсит отпуска получается после закалки стали 45 в воде и последующего низкого отпуска при температуре около 200 °С. Эта сталь с такой термообработкой может быть применена для изготовления деталей и инструментов, закаливаемых ТВЧ с низким отпуском или самоотпуском: коленвалы, распредвалы, валы КПП, шатуны, зубчатые колеса, поршневые пальцы, пальцы звеньев гусениц, пальцы рессор, крестовины карданов, зубила, пробойники, кернеры, пассатижи и др.

Троостит – высокодисперсная смесь феррита и цементита. Троостит является продуктом распада аустенита при закалке на троостит или продуктом распада мартенсита при отпуске на троостит и называется трооститом закалки или отпуска. С помощью обычного металлографического микроскопа строение троостита рассмотреть почти невозможно, и только при увеличениях в 10000...20000 раз выявляется пластинчатое строение троостита закалки и зернистое строение троостита отпуска (рис. 4, в). Твердость троостита $HB = 3000...5500$ МПа.

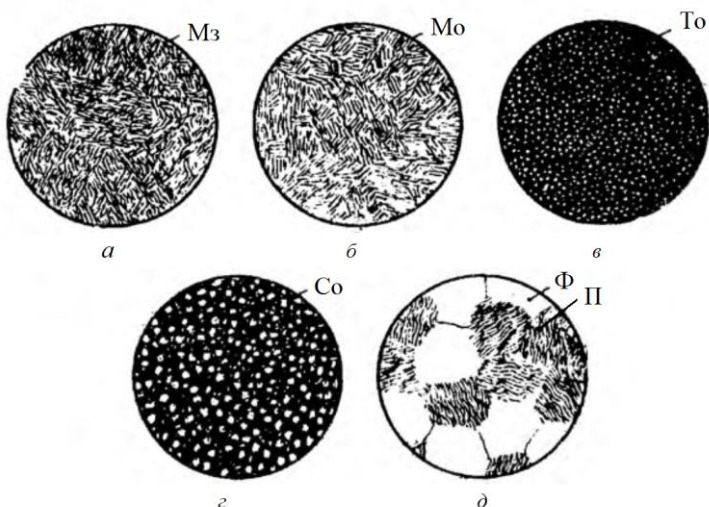


Рис. 4. Неравновесные микроструктуры стали 45, $\times 600$:
a – после закалки в воде при 850°C ; *б* – то же и отпуск при 200°C ;
в – то же и отпуск при 400°C ; *г* – то же и отпуск при 600°C ;
д – после нормализации или полного отжига

Троостит отпуска может быть получен после закалки стали 45 в воде и последующего среднего отпуска при температуре около 400°C . Такая сталь с указанной термообработкой иногда может быть применена для изготовления зубил, крейцмейселей, пробойников, кернеров, пассатижей и других инструментов и деталей.

Сорбит – дисперсная смесь феррита и цементита. Частицы цементита в сорбите крупнее, чем в троостите, и достаточно различимы при увеличении более, чем в 500 раз. Сорбит подразделяется на сорбит закалки и сорбит отпуска. Микроструктура сорбита закалки пластинчатая, сорбита отпуска – зернистая (рис. 4, *г*). Твердость сорбита $HV = 2500 \dots 3000$ МПа.

Сорбит отпуска получается после закалки стали 45 в воде и последующего высокого отпуска при температуре около 600°C . Эта сталь с такой термообработкой может быть применена для изготовления деталей, работающих с ударными нагрузками (шатунны, шатунные болты и др.), обеспечивает хорошие прочностные свойства в сочетании с высокими значениями ударной вязкости. Такая термообработка (закалка и высокий отпуск) называется термическим улучшением и

применяется вместо нормализации для ответственных деталей.

В доэвтектоидных сталях после нормализации или отжига получают равновесные микроструктурные составляющие – перлит и феррит (рис. 4, д).

Перлит – эвтектоидная смесь феррита и цементита, но частицы цементита в перлите крупнее, чем в сорбите. Строение перлита может быть пластинчатым или зернистым. Он хорошо различим при увеличениях 300...500 раз. Твердость перлита $HB = 1600...2300$ МПа.

Феррит – твердый раствор углерода в α -железе, имеет твердость $HB = 600...800$ МПа, относительное удлинение $\delta = 50\%$, ударную вязкость $KCU = 2...3$ МДж/м².

Цементит – химическое соединение Fe_3C , карбид железа, содержит 6,67% углерода, имеет твердость $HB > 8000$ МПа.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. После каких видов термообработки получают неравновесные структуры?
2. Назовите виды отпуска и температуры нагрева для каждого вида.
3. Чем отличаются структуры, образующиеся в результате распада аустенита, от структур, полученных при распаде мартенсита?
4. Как изменяются механические свойства стали после закалки и отпуска и почему?
5. Укажите, для изготовления каких деталей необходимо применение термообработки на структуру сорбит отпуска углеродистых сталей?
6. Какую термическую обработку необходимо провести при изготовлении зубил?

ТЕМА 4. МИКРОСТРУКТУРЫ И СВОЙСТВА ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Цель работы: получить навыки определения и исследования микроструктуры легированных сталей и установить взаимосвязь между их микроструктурами, химическим составом и механическими свойствами.

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с методическими указаниями по теме 4.
2. Настроить микроскоп для визуального наблюдения и рассмотреть микроструктуры легированных сталей.
3. Составить отчет по форме (см. таблицу, стр. 3).

Содержание отчета:

1. Составление отчета по форме.
2. Дать описание классов сталей по микроструктуре.
3. Характеристика микроструктур составляющих легированных сталей.
4. Влияние углерода и легирующих элементов на микроструктуру и свойства легированных сталей.

МЕТОДИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

По микроструктуре легированные стали можно подразделить на пять классов: ферритный, перлитный, мартенситный, аустенитный и карбидный. Класс стали определяется микроструктурой, полученной после нормализации.

К **ферритному классу** относятся углеродистые и легированные стали 1211, 2012, 3412, 12X17, 15X25Т, 15X28 и другие, легирующие элементы которых расширяют область феррита и сужают область аустенита на диаграмме железо-цементит. Эти стали после нормализации имеют структуру феррит.

К **перлитному классу** относятся углеродистые и низколегированные стали У7, У8, 80, 85, ХВГ, ХГТ и другие, в которых после нормализации образуется перлитная, сорбитная или трооститная микроструктура.

К **мартенситному классу** относятся средне- и высоколегированные стали 30X13, 40X13, ШХ15, 40X9С2 и другие, в которых легирующие элементы после нормализации обеспечивают получение мартенситной микроструктуры.

К **аустенитному классу** относятся высоколегированные стали 12X18Н9, 12X18Н10Т, 10X23Н18, 110Г13Л и другие, в которых при закалке не происходит превращение аустенита и он сохраняется при температуре окружающего воздуха.

К **карбидному классу** относятся высокоуглеродистые и высоколегированные стали Р9, Р9К5, Р18, Р18К5Ф2, Р6М5, Р6МЗ и другие, содержащие *W*, *V*, *Cr*, *Ti*, *Mo* и другие элементы-карбидообразователи. Микроструктура сталей карбидного класса состоит из перлита, сорбита, троостита, мартенсита, аустенита и включений большого количества карбидов.

Микроструктурные составляющие легированных сталей: легированный феррит, легированный перлит, легированные сорбит, троостит, мартенсит, аустенит, цементит, специальные карбиды. Микроструктуры некоторых легированных сталей показаны на рис. 5.

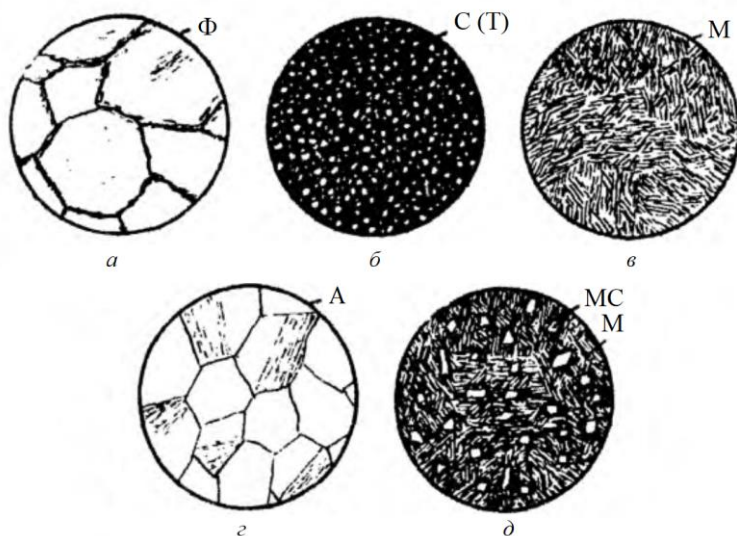


Рис. 5. Микроструктуры легированных сталей, $\times 600$:
 а – сталь 1412, ферритный класс; б – сталь ХВГ, перлитный класс;
 в – сталь ШХ15, мартенситный класс; г – сталь 110Г13Л, аустенитный класс;
 д – быстрорежущая сталь P18, карбидный класс.

Легированный феррит – твердый раствор легирующих элементов в α -железе. При наблюдении под микроскопом легированный феррит ничем не отличается от феррита углеродистых сталей, но имеет более высокие показатели механических свойств.

Легированный аустенит – твердый раствор легирующих элементов в γ -железе. В аустенитных сталях аустенит находится и при температуре окружающего воздуха. При наблюдении под микроскопом легированный аустенит выявляется в виде светлых однородных зерен с отчетливым очертанием границ и наличием линий сдвига (двойников).

Легированный цементит – твердый раствор легирующих элементов в цементите Fe_3C . При наблюдении под микроскопом легированный цементит ничем не отличается от цементита Fe_3C , но имеет повышенную твердость.

Специальные карбиды – соединения легирующих элементов с углеродом. Специальные карбиды встречаются в сталях с большим количеством легирующих элементов-карбидообразователей: *Mn, Cr, W, Mo, V, Ti, Ta, Zr, Hf, Tc, Re*. Карбиды подразделяются на имеющие

сложную кристаллическую решетку и при соответствующей температуре растворимы в аустените ($Cr_{23}C_6$, Cr_7C_3 , Fe_2W_2C , Fe_2Mo_2C и др.) и имеющие простую кристаллическую решетку и почти нерастворимые в аустените (W_2C , WC , Mo_2C , VC , TiC и др.). Специальные карбиды являются не чисто химическими соединениями, а твердыми растворами на базе этих химических соединений, в которых атомы легирующих элементов частично замещены атомами железа. Специальные карбиды имеют очень высокую твердость, по микроструктуре почти не отличаются от цементита Fe_3C .

Анализ микроструктур легированных сталей представляет определенные сложности и требует достаточно полных данных об их химическом составе и режимах термической обработки.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите классы легированных сталей по микроструктуре.
2. Нарисуйте микроструктуры легированных сталей ферритного, перлитного, мартенситного, аустенитного и карбидного классов.
3. Отличаются ли микроструктуры легированных сталей от углеродистых?
4. Как отличаются механические свойства легированных сталей от углеродистых?
5. Во всех ли случаях название класса легированной стали и микроструктуры совпадают?
6. Для каких целей применяются исследуемые легированные стали?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дегтярев, М. Г. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учеб. пособие / М.Г. Дегтярев. – М.: Колос, 2007. – 358 с.
2. Практикум по материаловедению и технологии конструкционных материалов: учеб. пособие / ред.: В.А. Оськин, В.Н. Байкалова. – М.: Колос С, 2007. – 318 с.
3. Оськин, В. А. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учебник / В.А. Оськин, В.В. Евсиков. – М.: Колос С, 2007 – Кн. 1. – 447 с.
4. Материаловедение и технология конструкционных материалов: учебник / О.С. Комаров, В.Н. Ковалевский, Л.Ф. Керженцова [и др.] ред. О.С.Комаров. -3-е изд., испр. и дополн. – Минск: Новое знание, 2009. – 671 с.
5. Материаловедение и технология металлов: учебник / Г.П. Фетисов [и др.]; ред. Г.П. Фетисов. – 4-е изд., испр. – М.: Высшая школа, 2006. – 862 с.
6. Андрушевич, А. А. Материаловедение: практикум / А. А. Андрушевич [и др.] 2-е изд., перераб. и дополн. – Минск; БГАТУ, 2013. – 176 с.
7. Изучение микроструктуры и свойств: Метод. указания / БГСХА; Сост. В.А. Валетов, В. А. Курочкин. – Горки, 2000. –16 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Химический состав некоторых конструкционных материалов

Марка материалов	Содержание элементов, %					прочие
	углерод (C)	марганец (Mn)	кремний (Si)	сера (S)	фосфор (P)	
				не более		
Техн. железо	≤ 0,02	–	–	–	–	<i>Cu</i> ≤ 0,10
Сталь 05кп	≤ 0,06	≤ 0,40	≤ 0,03	≤ 0,040	≤ 0,035	<i>Cr</i> ≤ 0,10 <i>Ni</i> ≤ 0,25 <i>Cu</i> ≤ 0,25
Сталь 45	0,42...0,50	0,50...0,80	0,17...0,37	≤ 0,040	≤ 0,035	<i>Cr</i> ≤ 0,25 <i>Ni</i> ≤ 0,25 <i>Cu</i> ≤ 0,25
Сталь 65	0,62...0,70	0,50...0,80	0,17...0,37	≤ 0,035	≤ 0,035	<i>Cr</i> ≤ 0,25 <i>Ni</i> ≤ 0,25 <i>Cu</i> ≤ 0,20
Сталь У8	0,76...0,83	0,17...0,33	0,17...0,33	≤ 0,028	≤ 0,035	<i>Cr</i> ≤ 0,20 <i>Ni</i> ≤ 0,25 <i>Cu</i> ≤ 0,25
Сталь У10	0,96...1,03	0,17...0,33	0,17...0,33	≤ 0,028	≤ 0,035	<i>Cr</i> ≤ 0,20 <i>Ni</i> ≤ 0,25 <i>Cu</i> ≤ 0,25
Белый чугун	≈ 4,30	0,40...0,60	0,50...0,80			
СЧ 20	3,30...3,50	0,70...1,00	1,40...2,40	≤ 0,150	≤ 0,200	
КЧ 37-12	2,40...2,90	0,20...1,00	1,00...1,60	≤ 0,120	≤ 0,180	
ВЧ 50	3,00...3,60	0,30...0,70	1,10...2,90	≤ 0,020	≤ 0,100	<i>Mg</i> ≈ 0,05
Сталь 1412	≤ 0,05		2,80...3,80			
Сталь ХВГ	0,90...1,05	0,80...1,10	0,10...0,40	≤ 0,030	≤ 0,030	<i>Cr</i> = 0,90...1,20 <i>W</i> = 1,2...1,6 <i>Ni</i> ≤ 0,35
Сталь ШХ15	0,95...1,05	0,20...0,40	0,17...0,37	0,020	0,027	<i>Cr</i> = 1,30...1,65 <i>Ni</i> ≤ 0,30 <i>Cu</i> ≤ 0,25
Сталь 110Г13Л	0,90...1,40	11,5...15,0	0,80...1,00	≤ 0,050	≤ 0,120	<i>Cr</i> ≤ 1,00 <i>Ni</i> ≤ 1,00 <i>Cu</i> ≤ 0,30
Сталь Р18	0,73...0,83	≤ 0,50	≤ 0,50	≤ 0,030	≤ 0,030	<i>W</i> = 17,0...18,5 <i>Cr</i> = 3,8...4,4 <i>V</i> = 1,0...1,4

Механические свойства некоторых конструкционных материалов

Марка материалов	Вид термической обработки	Сечение заготовки, мм	Предел прочности при растяжении σ_b , МПа	Предел текучести $\sigma_{т}$, МПа	Относительное удлинение δ , %	Ударная вязкость KCU , МДж/м ²	Твердость $HВ$, МПа (HRC)
1	2	3	4	5	6	7	8
Техн. железо	Нормализация	–	> 250	> 120	> 50	–	700...800
Сталь 05кп	Нормализация, 930 °С	10	255...370	–	27...34	–	1100...1310
Сталь 45	Нормализация, 850 °С	–	470...600	> 360	14...20	0,3...0,5	1430...2070
Сталь 45	Закалка, вода, 840 °С	60	–	–	–	–	5600
	Отпуск 200 °С	60	900...1200	600...1000	6...9	0,2...0,5	5600
	Отпуск 400 °С	60	730...840	520...590	12...14	0,5...0,7	4400
	Отпуск 600 °С	60	610...680	410...440	18...20	0,9...1,2	2600
Сталь 65	Нормализация, 820 °С	–	> 820	> 415	> 19	–	< 2800
Сталь 65	Закалка, масло, 830 °С	12	–	–	–	–	(61)
	Отпуск 400 °С	12	> 1220	> 810	> 5	–	(45)
Сталь У8	Отжиг, 780 °С	–	600...750	400...460	10...15	0,8...1,2	1870...2270
Сталь У8	Закалка, вода, 790 °С	10	–	–	–	–	(61...64)
	Отпуск 200 °С	10	–	–	–	–	(61...64)
Сталь У10	Отжиг, 780 °С	–	600...750	410...510	8...12	0,4...0,7	2070...2300
Сталь У10	Закалка, вода, 790 °С	15	–	–	–	–	(62...64)
	Отпуск 200 °С	15	–	–	–	–	(62...64)
Белый чугун	Литье, старение	–	–	–	–	–	8000
СЧ 20	Литье, старение	–	> 200	–	–	–	< 2550
СЧ 20	Закалка твч, 930 °С	20	–	–	–	–	–
	Отпуск 200 °С	20	–	–	–	–	(38...43)

1	2	3	4	5	6	7	8
КЧ 37-12	Литье, отжиг, 950 °С	–	> 370	–	> 12	–	< 1630
ВЧ 50	Литье, старение	–	> 500	–	–	> 0,3	1800...2600
ВЧ 50	Закалка ТВЧ, 920 °С	70	–	–	–	–	–
	Отпуск 200 °С	70	–	–	–	–	(50...55)
Сталь 1412	Нормализация	–	255...370	–	27...34	–	1100...1310
Сталь ХВГ	Отжиг, 840 °С	–	600...750	320...420	16...24	0,3...0,7	< 2550
Сталь ХВГ	Закалка, масло, 840 °С	50	–	–	–	–	(63...64)
	Отпуск 200 °С	50	–	–	–	–	(63...64)
Сталь ШХ15	Отжиг, 800 °С	–	590...730	370...410	15...25	0,3...0,4	1790...2070
Сталь ШХ15	Закалка, масло, 840 °С	30	–	–	–	–	(61...63)
	Отпуск 200 °С	30	–	–	–	–	(61...63)
Сталь 110Г13Л	Закалка, вода, 1100 °С	30	65...830	360...380	34...35	2,6...3,5	1860...2290
Сталь Р18	Отжиг, 850 °С	–	> 840	> 510	6...8	0,1...0,2	2120...2550
Сталь Р18	Закалка, масло, 1280 °С	30	–	–	–	–	(62)
	Трехкратный отпуск 560 °С	30	> 2330	–	–	> 0,2	(65)

Применение некоторых конструкционных материалов

Материал	Изготавливаемые изделия
Техн. железо	Сердечники генераторов, электродвигателей, трансформаторов и электромагнитов
Сталь 05кп	Заклепки, кожуха, неответственные детали, изготавливаемые методом холодной штамповки и высадки
Сталь 45	Коленчатые и распредвалы, валы КПП, шатуны, шестерни, поршневые пальцы, пальцы звеньев гусениц, пальцы рессор, крестовины и вилки карданов, зубила, бородки, кернеры, молотки, пассатижи и другие нормализуемые, улучшаемые, объемнозакаливаемые и закаливаемые ТВЧ детали и инструменты
Сталь 65	Рессоры, пружины, лапы и диски культиваторов, сошники сеялок, отвалы плугов
Сталь У8	Фрезы для обработки древесины, зенковки, топоры, стамески, долота, ручные пилы, молотки, кернеры, отвертки, плоскогубцы, кусачки
Сталь У10	Метчики ручные, плашки, рашпили, напильники, надфили, пилы, калибры
Белый чугун	Валки прокатных станов, катки дорожных машин, колеса вагонов, шары мельниц, лемеха плугов, тормозные колодки
СЧ 20	Станины станков, блоки двигателей, гильзы цилиндров, поршневые кольца, корпусные детали
КЧ 37-12	Пальцы режущих аппаратов косилок и жаток, картеры задних мостов и картеры рулевых механизмов, звездочки сельхозмашин, диски предохранительных муфт сельхозмашин
ВЧ 50	Станины прокатных станов, молотов и металлорежущих станков, корпусные детали двигателей, коленвалы двигателей легковых и грузовых автомобилей
Сталь 1412	Сердечники генераторов, электродвигателей, трансформаторов и электромагнитов
Сталь ХВГ	Измерительные и режущие инструменты, резьбовые калибры, протяжки, длинные метчики и развертки, холодновысодочные матрицы и пуансоны
Сталь ШХ15	Шарики, ролики и кольца подшипников, плунжеры и втулки плунжеров, корпуса распылителей, ролики толкателей
Сталь 110Г13Л	Зубья ковшей экскаваторов, звенья гусениц, железнодорожные крестовины, щеки и конуса дробилок, корпуса шаровых и вихревых мельниц
Сталь Р18	Резцы, сверла, метчики, развертки, фрезы, долбяки, протяжки

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Тема 1. Равновесные микроструктуры и свойства углеродистых сталей.....	4
Тема 2. Микроструктуры и свойства чугунов.....	9
Тема 3. Неравновесные микроструктуры и свойства углеродистых сталей	13
Тема 4. Микроструктуры и свойства легированных сталей.....	16
Библиографический список.....	20
Приложения.....	21