

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. И.РАЗЗАКОВА**

КАФЕДРА «ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ»

МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Методические указания к лабораторным работам

Бишкек – 2011

«Рассмотрено»
на заседании кафедры
«Технологии машиностроения»
Протокол № от

«Одобрено»
Методическим советом
ФТиМ
Протокол № от

Составитель САПРЫКИН Ю.В.

Металлографический анализ. Методические указания к лабораторным работам / КГТУ им. И.Раззакова; сост. Ю.В.Сапрыкин. – Б.: ИЦ «Текник», 2011. – 37 с.

Рецензенты: проф. Омуралиев У.К.,
доц. Жумалиев Ж.М.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА I

МАКРОАНАЛИЗ МЕТАЛЛОВ

Цель работы:

1. Изучить сущность и назначение макроанализа.
2. Овладеть методикой качественно-количественного макроанализа изломов.

Материальное обеспечение:

1. Стенд с объектами макроанализа.
2. Коллекция образцов из металлических сплавов с визуально-наблюдаемыми на поверхности дефектами, нарушающими сплошность материала (газовые пузыри, трещины, пористость и т.д.)
3. Коллекция вязких, хрупких, смешанных (вязко-хрупких) изломов.
4. Заготовки для приготовления макрошлифов.
5. Набор наждачной бумаги различных номеров.
6. Макрошлифы после травления из металлических материалов в литом, деформированном и закаленном состоянии.

Краткие теоретические сведения.

Сущность макроанализа.

Макроанализ – это исследование строения металла, выполняемое визуально (невооруженным глазом) или при небольшом (до 30 раз) увеличении. Изучаемая при этом структура является макроструктурой (от греческого *makros* – большой).

Назначение макроанализа.

Объектом исследования при макроанализе может быть непосредственно поверхность изделия, шлифованная поверхность образца, вырезанного из определенного участка, или поверхность разрушения образца (детали).

Макроанализ поверхности изделия (слитка, отливки, поковки, сварного соединения и т.д.) позволяет выявить разного рода несплошности – усадочные раковины, газовые пузыри, поры и трещины. Имеющие макроскопические размеры и выходящие на поверхность детали (образца).

Макроанализ шлифованной поверхности образца (Макроанализ шлифов) позволяет определить глубину закаленного и цементованного слоя, обнаружить химическую неоднородность сплава (ликвидацию), а так же выявить микротрещины. Газовые пузыри, поры и прочие дефекты в случае их залегания на некоторой глубине под поверхностью изделия.

Макроанализ поверхности разрушения (излома) позволяет установить вид разрушения (хрупкое, вязкое, вязко-хрупкое), выявить причины поломки детали (перегрузки, охрупчивание, низкое качество металла и т.д.). Макроанализ поверхностей вязко-хрупких изломов позволяет в первом приближении оценить склонность материала к охрупчиванию при данной температуре и способе нагружения, а получаемые при этом результаты способствуют решению такого важного практического вопроса, как повышение надежности работы материалов в конкретных условиях их эксплуатации.

Макроанализ изломов.

Излом образца (детали) следует рассматривать как поверхность, по которой распространилась разрушившая материал трещина. В ряде случаев уже при визуальном осмотре излома детали, то есть при макроанализе, можно установить не только вид разрушения, но и характер развития трещины (стабильное, ускоренное, очень быстрое), а также ориентировочно оценить трещиностойкость (вязкость разрушения) исследуемого материала.

Предположим, что перед нами поставлена задача разобраться в причине систематических поломок конкретной детали. Первым шагом на пути к решению этой задачи является визуальный осмотр на изломе детали с целью установления вида разрушения (хрупкое, вязкое, вязко-хрупкое).

Матовый, волокнистый излом (рис 1) освидетельствует о вязком разрушении, при котором материал, обладая достаточной пластичностью, хорошо сопротивляется развитию в нем трещин. Следовательно, деталь разрушается не из-за охрупчивания материала, а, например, вследствие больших перегрузок или из-за наличия в материале крупных неметаллических включений и т.п.

Блестящий вид и кристаллическое строение излома (рис 2) свидетельствует о хрупком разрушении, при котором материал из-за потери пластичности (например, вследствие чрезмерного его упрочнения или за счет снижения температуры) плохо сопротивляется распространению в нем трещины. Хрупкое разрушение происходит с большой скоростью (скорость распространения хрупкой трещины составляет примерно 0,4 от скорости распространения звука в металле) и представляет наибольшую опасность. В данном случае материал абсолютно ненадежен в эксплуатации и для того, чтобы предотвратить в дальнейшем хрупкое разрушение детали, следует рекомендовать замену материала или изменение его структуры на более пластичную при данных температурно-силовых условиях нагружения.

Довольно часто приходится иметь дело с изломами, на поверхностях которых присутствуют участки, характерные и для хрупкого и для вязкого разрушения (рис 3). В этом случае разрушение классифицируют как смешанное (вязкохрупкое).

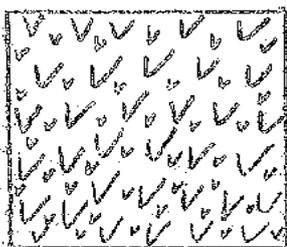


Рис.1. Схема поверхности хрупкого излома.



Рис.2. Схема поверхности вязкого излома.

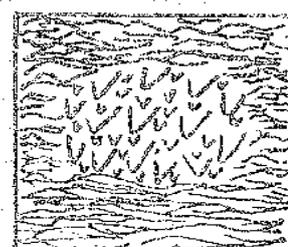


Рис.3. Схема поверхности смешанного излома (вязкохрупкого) излома.

Вязко-хрупкое разрушение особенно характерно для высокопрочных металлических материалов, в которых распространение трещины на закритической стадии (там, где формируется хрупкий участок излома) происходит, как правило, с очень большой скоростью и не сопровождается заметной, макропластической деформацией. На до критической стадии разрушения таких материалов рост трещины обычно замедлен из-за существенной пластической деформации и на этой стадии формируется вязкий участок излома.

Результаты макроанализа вязко-хрупких изломов позволяют устанавливать критические длины трещин и судить о склонности исследуемого материала к хрупкому разрушению при заданных температурно-силовых условиях нагружения - по соотношению площадей зон (участков)

Вязкого и хрупкого разрушения на поверхности излома.

Зависимость ударной вязкости (удельной работы, затрачиваемой на разрушение единицы площади поперечного сечения образца при ударе) от относительной площади участка вязкого разрушения на поверхности излома схематично представлена на рис 4, где показано, что чем больше относительная площадь участка вязкого разрушения на изломе, тем выше уровень прочности материала при ударных нагрузках и наоборот.

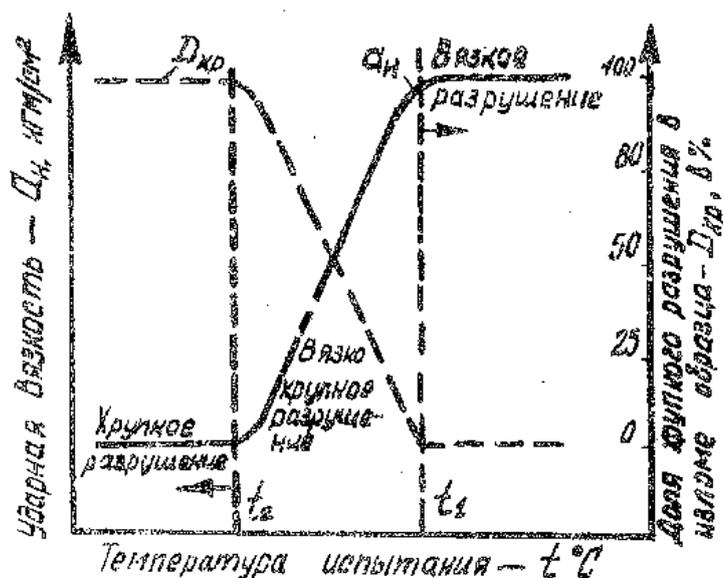


Рис.4. Зависимость ударной вязкости и доли хрупкого разрушения на изломах стальных образцов от температуры испытания (схема)

Макроанализ шлифов

Макрошлифом считается выбранная для исследования плоская поверхность части детали (образца), которую после разрезки шлифуют на различной по номеру (зернистости) наждачной бумаге, постепенно переходя к более мелкому зерну и изменяя при каждом переходе направление шлифовки на 90° (шлифовку в одном направлении производят до тех пор, пока не исчезнут риски от предыдущей, более грубой, наждачной бумаги).

Для вычисления дефектов (макротрещины, газовые пузыри, раковины и т.д.), выходящих на поверхность, макрошлиф подвергают поверхностному (неглубокому) травлению с применением соответствующего реактива (чаще всего реактива Гейна: $\text{NH}_4\text{Cl} - 53\text{г}$ и $\text{CuCl}_2 - 85\text{г}$ на 1000мл воды; $t=20^\circ\text{C}$ $\tau = 0,5 - 1\text{мин}$). При погружении микрошлифа в реактив дефектные места разъедаются и приобретают более темную окраску, что способствует их выявлению.

Для выявления мелких и расположенных на некоторой глубине от поверхности макрошлифа дефектов, нарушающих сплошность материала, применяют реактивы глубокого травления (например, 50% HCl в воде; $t=60 - 70^\circ\text{C}$, $\tau=15-40\text{мин}$).

Выявление неоднородности состава и структуры материала в результате термической или химико-термической обработки.

Для обнаружения глубины закаленного слоя микрошлиф подвергают химическому травлению 50-процентным раствором HCl в воде в течении 3-5 минут

при температуре 70-80°C. В процессе такой обработки часть поверхностей шлифа, где расположена зона, подвергшаяся закалке, приобретает более темную окраску.

Для выявления толщины поверхностного слоя детали, подвергшегося науглероживанию в процессе цементации, микрошлиф обрабатывают реактивом следующего состава: 2г $\text{CuCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и 1мл HCl на 100 мл этилового спирта. При этом науглероженный поверхностный слой не изменяется, нецементованная сердцевина окрашивается красным налетом меди.

Задание

В данной работе студенты знакомятся с объектами макроанализа; овладевают методикой приготовления макрошлифов; выявляют дефекты, нарушающие сплошность материала; исследуют глубину закаленного слоя в образце (детали). При макроанализе изломов устанавливают вид разрушения и проводят расчет площадей зон, занятых вязким и хрупким разрушением на поверхностях смешанных (вязко-хрупких) изломов; по результатам этого расчета делают заключение о склонности исследуемого материала (структуры) к хрупкому разрушению при заданных температурах и силовых условиях нагружения.

Порядок выполнения работы

1. Изучаются объекты макроанализа, представленные на стенде.
2. С использованием коллекции изломов, полученных при статическом и ударном нагружении, исследуется вязкий, хрупкий и смешанный (вязко-хрупкий) виды разрушения металлических материалов; производится расчет площадей зон вязкого и хрупкого разрушения на поверхностях смешанных (вязко-хрупких) изломов и делается заключение о степени охрупчивания материала при заданных температурно-силовых условиях нагружения.
3. Приготовление макрошлифы на заданных поверхностях заготовок (темплетов).
4. Выявляются особенности макростроения материала в литом и деформированном состоянии; зарисовываются и описываются обнаруженные макродефекты: усадочные раковины, газовые пузыри, пористость, трещины.
5. Оценивается глубина закаленного слоя в образце (детале).

Содержание письменного отчета

1. Название и цель работы.
2. Рисунки объектов макроанализа, в т.ч. и рисунки с условным изображением вязких, хрупких и смешанных (вязко-хрупких) поверхностей изломов.
3. Краткое описание объектов макроанализа и методик их исследования (выявления).

Контрольные вопросы

1. Что называется макроанализом и каково его назначение?
2. Что называют макрошлифом?
3. Какая информация может быть получена при макроанализе поверхности изделия, излома, макрошлифа?
4. Какие существуют виды разрушения и какова связь вида разрушения со стороны излома?
5. Можно ли по виду излома выявить склонность материала к хрупкому разрушению?
6. Как определить глубину закаленного и цементованного слоя в детали при макроанализе?

Лабораторная работа № 3
ИЗУЧЕНИЕ МАКРО И МИКРОФРАКТОГРАФИЧЕСКИХ
ОСОБЕННОСТЕЙ УСТАЛОСТНОГО РАЗРУШЕНИЯ
МЕТАЛЛОВ

Цель работы:

1. Исследовать макрофрактографию усталостного разрушения конструкционных сталей.
2. Изучить микрофрактографию в отдельных зонах поверхности усталостного излома.
3. Произвести ориентировочный расчет долговечности (времени работы) образца с усталостной трещиной.

Краткие теоретические сведения

Фрактография в переводе с английского означает «картина разрушения». Поверхность излома образца (детали) является своеобразной фотографией истории разрушения, запечатлевшей все особенности распространения трещины (следы ее возможных остановок, изменение скорости развития и т.д.).

Успешное решение задачи, связанной с повышением прочности и надежности деталей машин во многом зависит от правильного анализа причин, обуславливающих аварийные, непредвиденные их разрушения. Изыскивать эти причины и устраивать уровень эксплуатационных нагрузок помогают фрактографические исследования.

Большинство деталей машин и элементов металлических конструкций в процессе работы подвержены циклическим нагрузкам, то есть нагрузкам, периодически воздействующим на деталь. При таком циклическом способе нагружения материал детали разупрочняется при гораздо меньших нагрузках, чем при статическом нагружении, например, растяжением. Когда мы пытаемся разделить проволоку на две части, то ее не растягиваем, а многократно периодически изгибаем. При этом сравнительно легко добиваемся успеха – установленного разрушения.

Чем с большим усилием изгибаем проволоку, тем быстрее, то есть за меньшее число циклов нагружения, удастся ее поломать.

А усталостный излом проволоки, его макрофрактография, все в большей степени соответствует картине разрушения, схематично показанной на рисунке(1 б). Приложив к проволоке (образцу, детали) небольшое усилие (нагрузку), придется затратить соответственно и большее время на разрушение, изменится в данном случае и макрофрактография усталостного излома (рис. 1,а).

Таким образом, макрофрактография усталостного излома зависит от уровня нагрузки и длительности работы образца (детали).

Поэтому, если подвергнутый макрофрактографическому анализу усталостный излом окажется подобным тому, который схематично изображен на рис. 1.б, то можно сделать заключение о преждевременном разрушении детали вследствие большой перегрузки.

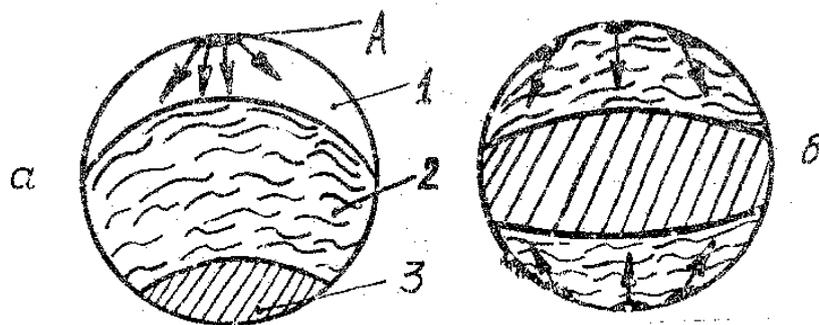


Рис.1. Макроскопическое строение поверхности усталостных изломов, полученных при низких (а) и высоких (б) напряжениях в условиях кругового изгиба

Макрофрактография изломов, полученных при средних и низких уровнях нагрузки, позволяет выявить до четырех характерных по рельефу зон (рис.1,а): А-очаг разрушения (макроскопический участок зарождения усталостной трещины); 1 – зона собственно усталостного разрушения (зона стабильного и медленного роста трещины); 2 – зона ускоренного роста трещины; 3 – зона долома.

Зона стабильного роста усталостной трещины

Зона собственно усталостного разрушения или стабильного роста трещины рис.1, (зона 1) имеет всегда светлую окраску (иногда сильный блеск) и относительно гладкую поверхность. Типичным для микрофрактографической картины этой зоны является бороздчатый рельеф (рис.2), выявляемый при увеличении в несколько тысяч раз в виде на многочисленных микрополос, расположенных перпендикулярно к направлению развития усталостной трещины и представляющих собой гладкие микроучастки, ограниченные бороздками.

Считается, что бороздчатый рельеф является важным объектом диагностики и изучения кинетики усталостного разрушения. В результате многочисленных исследований связей шага бороздок со скоростью распространения усталостной трещины установлено, что возникновение одной бороздки за один цикл нагружения (т.е. продвижение трещины за каждый цикл нагружения на расстояния равная шагу бороздок) возможно лишь на границе зоны 1 с зоной 2 (рис.1,а).

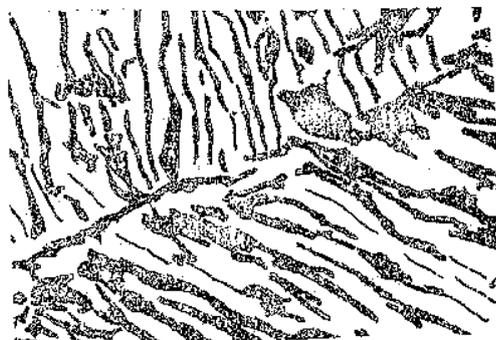


Рис.2. Микрофрактография усталостного излома образца стали X18H9T в зоне собственно усталостного разрушения

И только на этом участке, т.е. в конце стадии стабильного роста усталостной трещины, может иметь место совпадение так называемой микроскопической скорости роста трещины, устанавливаемой по шагу бороздок, с макроскопической скоростью, определяемой путем непосредственного наблюдения за приращением длины трещины на боковой поверхности плоского образца.

Исследования макроскорости роста трещины \dot{U} в конструкционных сталях на разных стадиях усталостного разрушения, позволили установить, что в начале зоны 1 скорость роста трещины

а иногда и тысячных, долей микрометра за 1 цикл нагружения ($U_0=10^{-6} \dots 10^{-9}$ М/цикл). Считается, что усталостная трещина в зоне 1 растет наиболее медленно и стабильно (рис.3). При достижении трещинной финишного участка (границы) зоны 1 скорость роста трещины U_k может достигать $U_k=0.3 \dots 1.5 \cdot 10^{-6}$ М/цикл.

Если принять во внимание, что зона 1 присутствует только на изломах, полученных в области многоциклового усталости, когда материал выдерживает до разрушения более 10^5 циклов нагружения (рис.1,а), то зону 1 можно считать своеобразным фрактографическим индикатором области многоциклового усталости, и по наличию или отсутствию данной зоны на изломе можно ориентировочно судить о долговечности работы образца (детали).

Зона ускоренного роста усталостной трещины

В тех случаях, когда усталостное разрушение происходит не быстрее чем за $10^5 \dots 10^6$ циклов нагружения, зона ускоренного роста трещины (рис.1,а, зона 2) наблюдается на поверхности излома между зоной 1 и зоной долома (зона 3). При высоких уровнях нагрузки, когда образец (деталь) разрушается за 10^4 и меньшее число циклов нагружения (область малоциклового усталости), на изломах можно наблюдать только две зоны: зона ускоренного роста трещины и зону долома (рис.1,б).

Зона ускоренного усталостного разрушения (зона 2), в отличие от зоны 1, имеет значительно большую шероховатость поверхности, темно-матовую окраску и волокнистое строение – типичные фрактографические признаки вязкого разрушения (у очень пластичных при циклическом нагружении сталей) или светлую окраску и кристаллическое строение – типичные фрактографические признаки хрупкого разрушения.

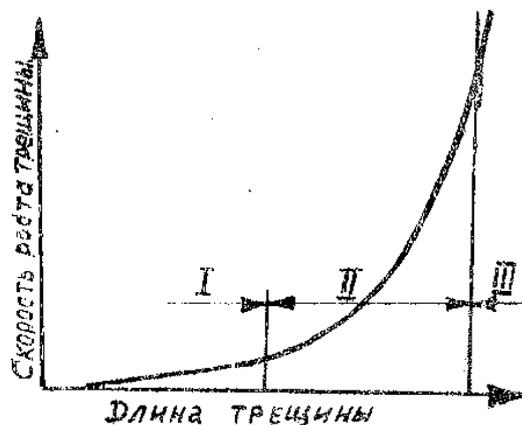


Рис.3. Характер изменения скорости роста трещины на разных стадиях усталостного разрушения (схема): 1- стадия стабильного роста трещины (зона 1); 2-стадия ускоренного роста трещины (зона 2); 3-стадия долома (зона 3)



Рис.4. Микрофрактография усталостного излома образца стали X18H9T в зоне усталостного роста трещины

В первом случае скорости роста трещины в зоне 2 может на несколько порядков превышать скорость роста трещины на финишном участке зоны 1

(рис.3), а типичной фрактографической картиной для данной зоны будет являться чередование усталостных бороздок и, так называемого ямочного микрорельефа – неперменного атрибута вязкого разрушения (рис.4).

Зона долома

Зона долома – зона 3 (рис.1,а) часто имеет резкие границы и еще более шероховатую поверхность, чем зона 2. Распространение трещины через всю зону долома происходит, как правило, мгновенно за один - два цикла нагружения.

Окраска и строение зоны долома, так же как и зоны ускоренного роста трещины, зависит от вида разрушения (вязкое, хрупкое). При вязком усталостном разрушении зона долома тоже имеет характерное волокнистое строение (при визуальном наблюдении) и темно-матовую окраску, а микрофрактографическое исследование выявляет в пределах этой зоны только ямочный микрорельеф (рис.5,а).



Рис. 5. Микрофрактография усталостного излома образца стали 20 в зоне долома при различных температурах испытания: а - при +20°С; б - при -196 °С.

В тех случаях, когда распространение трещины в зонах 2 и 3 не сопряжено с заметной пластической деформацией, поверхности обеих зон имеют характерные для хрупкого разрушения светлую окраску и кристаллическое строение, а типичной микрофрактографической картиной в этом случае является наличие на поверхности излома многочисленных фасеток – ступенек с гладкой блестящей поверхностью, представляющих собой следы внутри кристаллического скола (отрыва), происшедшего и микрообъемах зерен по определенной кристаллографической плоскости (рис.5,б).

Задание

В данной работе студенты изучают макро и микрофрактографические особенности строения усталостных изломов. По результатам количественного макрофрактографического анализа усталостного излома определяют протяженность (в радиальном направлении) всех характерных по макрорельефу зон: зоны стабильного, собственно усталостного разрушения (зоны 1); зоны ускоренного разрушения (зоны 2) и зоны долома (зоны 3). Устанавливают критическую длину усталостной трещины l_k (с учетом протяженности зоны 1)

и производят ориентировочный расчет кинетики усталостного разрушения и времени развития трещины до критической длины ℓ_k .

Макрофрактография исследуемых образцов (изломов) изучается визуально, а количественная оценка размеров зон производится с помощью штангенциркуля, линейки или бинокулярной лупы, снабженной окуляром – микрометром.

Порядок выполнения работы

1. Зарисовать исследуемый излом с обозначением границ и размеров всех выявленных на его поверхности макрозон.
2. Описать макро и микрофрактографические особенности усталостного разрушения в каждой выявленной макрозоне.
3. Установить на исследуемом изломе расположение очагов разрушения и направление развития усталостной трещины.
4. Определить критическую длину усталостной трещины ℓ_k , соответствующую длину зоны собственного усталостного разрушения (рис.1,а, зоны 1).
5. Определить путем непосредственного измерения на макрофрактографии излома размер (ширину) усталостной микробороздки Δ_s , соответствующую критической длине трещины ℓ_k и таким способом установить скорость v_k усталостной трещины, достигшей критической длины ℓ_k . Например, если ширина усталостной бороздки на границе зоны 1 (зоны собственно усталостного разрушения) окажется равной $\Delta_s \approx 0,8 \cdot 10^{-7}$ м, то ориентировочно можно считать, что за каждый цикл нагружения длина трещины увеличивается в среднем на Δ_s и, следовательно, $v_k \approx 0,8 \cdot 10^{-7}$ м/цикл.
6. Произвести ориентировочный расчет времени t_k , в течение которого магистральная усталостная трещина развивалась в образце до критической длины ℓ_k

$$t_k = 2\ell_k / v_0 + v_k \quad (1),$$

где v_0 – начальная скорость роста магистральной трещины (от границы между очагом разрушения и зоной 1 на рис.1,а). При выполнении настоящей работы v_0 принять равной 10^{-9} м/цикл.

7. Определить ускорения α в процессе стабильного роста трещины на стадии собственно усталостного разрушения (т.е. в зоне 1)

$$\alpha = (v_k - v_0) / t_k \quad (2)$$

8. Зная ускорение трещины ($\alpha = \text{Const}$) и подставляя соотношения (3) и (4) заданные текущие значения времени $t_i < t_k$ 1,5,10,15,20,25,30,40,50,60,70,80,90 минут, произвести расчет соответствующих длин трещины L_k и скоростей ее развития в пределах зоны 1

$$\ell_i = v_0 t_i + \alpha t_i^2 / 2 \quad (3)$$

$$v_i = v_0 + \alpha t_i \quad (4)$$

Примечание. Так как скорость роста трещины v задана в М/цикл, а время - в минутах, то необходимо преобразовать размерность скорости в М/мин, учитывая, что частота нагружения образца составляла $f = 1 \cdot 10^3$ цикл/мин.

9. Результаты расчета по соотношениям (3) и (4) свести в табл. 2 и с учетом расчетных значений параметров ℓ_i и v_i построить кинетическую кривую усталостного разрушения в пределах зоны 1 в виде зависимости $v_i = f(\ell_i)$.

Таблица 1

$v_0 \cdot 10^{-9}$ М/цикл	$v_k \cdot 10^{-7}$ М/цикл	$f \cdot 10^3$ цикл/мин	$\ell_k \cdot 10^{-3}$ М	t_k мин	α М/мин ²
1,0					

Содержание письменного отчета.

- 1) Цель работы.
- 2) Эскиз исследованного излома, краткое описание и рисунки макро-и микрофрактографических особенностей усталостного разрушения на стадии стабильного и ускоренного разрушения, а также на стадии долома.
- 3) 3) экспериментальные и расчетные значения параметров $\ell_k, \ell_i, t_k, \alpha, v_k, v_i$, сведенные в табл. 1 и 2.
- 4) График зависимости скорости роста усталостной трещины от длины трещины на стадии стабильного усталостного разрушения ($v_i = f(\ell_i)$)

Таблица 2

Время роста трещины t_i мин.	1	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90
Текущие длины трещины $\ell_i \cdot 10^{-3}$ М													
Скорость роста трещины v_i М/мин.													

Контрольные вопросы

1. Что следует понимать под макро- и микрофрактографией изломов?
2. Какие фрактографические особенности присущи усталостным изломам?
3. Какую информацию позволяет получить количественная макро-и микрофрактография усталостного излома?

4. Как оценить долговечность работы материала с трещиной при циклическом нагружении?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ СПЛАВОВ

Цель работы:

1. Изучить структуру металлических сплавов.
2. Ознакомиться с диаграммой состояния двухкомпонентных сплавов и с количественным анализом диаграмм.

Краткие теоретические сведения

Технически чистые металлы не получили широкого применения в машиностроении в качестве конструкционного материала, так как детали, изготовленные из них не смогли бы отвечать требованиям высокой прочности, твердости, износостойкости. Более выгодны в этом отношении металлические сплавы: они дешевле чистых металлов, имеют лучшие механические свойства и часто обладают ценным физико-химическими свойствами.

Определение терминов «Сплав», «Компонент», «Фаза»

Под сплавом подразумевается вещество, полученное сплавлением двух или более химических элементов. Сплав, состоящий преимущественно из металлических элементов и обладающий металлическими свойствами, называется металлическим сплавом. Химические элементы, входящие в состав сплава, подразделяют на компоненты и на примеси.

Компонентами сплава принято считать такие химические элементы, которые формируют структуру данного сплава, его фазовый состав.

Фазой называется физически и химически однородная часть сплава, имеющая одинаковый состав, одно и то же агрегатное состояние и отдельная от остальных частей (фаз) поверхностью раздела.

Например, полностью жидкое состояние сплава рассматривается как однофазное, а смешанное агрегатное состояние (жидко-твердое) – как двухфазное. Смесь кристаллических зерен разных химических элементов (компонентов сплава), разграниченных поверхностью раздела, тоже будет являться двухфазной структурой.

Строение металлических сплавов

Строение металлических сплавов зависит от типа связи между его компонентами. На основе двух компонентов, например, А и В можно получить большое количество сплавов, которые будут отличаться друг от друга процентным содержанием компонентов (концентрацией элементов А и В). Однако при всем многообразии применяемых в технике сплавов известны лишь три основных типа их структурных и фазовых составляющих: твердые растворы, химические соединения, механические смеси.

Твердые растворы

Растворимость компонентов сплава друг в друге в твердом состоянии предполагает размещение некоторого количества атомов одного компонента (растворимого) в кристаллической решетке другого компонента (растворителя).

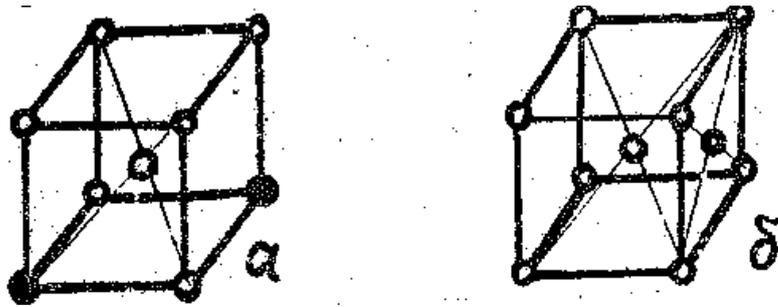


Рис.1. Образование твердых растворов замещения (а) и внедрения (б) (схема)

По механизму образования твердые растворы подразделяют на твердые растворы замещения (рис.1,а) внедрения (рис.1,б) и вычитания (последние встречаются сравнительно редко и в данном руководстве не рассматриваются). Так как взаимная растворимость компонентов сплава и твердом состоянии происходит на атомном уровне, то твердые растворы являются однофазными, состоят из одного вида кристаллов (рис. 2,а) и имеют один тип кристаллической решетки. В случае невыполнения некоторых условий (например, при существенном различии в температурах плавления компонентов, в размерах их атомных радиусов и в типах кристаллической решетки) компоненты сплава не образуют структуру твердого раствора.

Химические сведения

Когда атомы компонентов сплава притягиваются между собой и между ними имеется электрохимическое различие, то при строго определенной концентрации компонентов образуется химическое соединение Fe_3C (цементит) образуется только при 6,67 % концентрации углерода в сплаве с железом.

Механические смеси

Когда компоненты сплава (А и В) взаимно не растворяются в твердом состоянии и не вступают в химическую реакцию с образованием химического соединения, а их атомы взаимодействуют (отталкиваются или притягиваются) между собой слабее, чем подобные атомы, то в этом случае атомы каждого из компонентов в процессе кристаллизации сплава обособливаются в отдельные кристаллические зерна. В результате образуется структура механической смеси зерен, каждое из которых принадлежит конкретному компоненту сплава (рис.2,б).

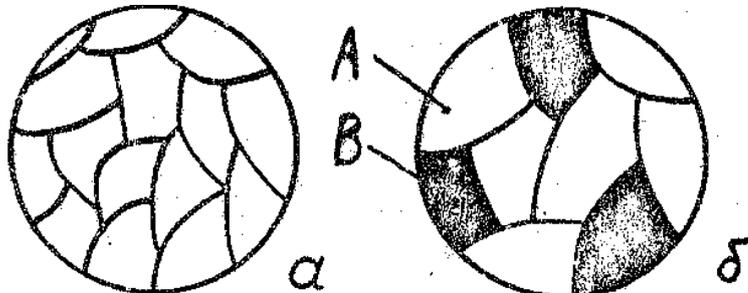


Рис.2. Микроструктура твердого раствора (а) и механической смеси (б)

Структура механической смеси в промышленных сплавах далеко не всегда образуются непосредственно из кристаллических зерен самих компонентов сплавов, как показано на рис.2,б. Довольно распространены сплавы, компоненты которых обладают ограниченной взаимной растворимостью в твердом состоянии и образуют химическое соединение. В таких сплавах структура механической смеси формируется из зерен

ограниченных твердых растворов и химического соединения, которые, в свою очередь, образуются уже непосредственно из компонентов сплава. Например, структура в сталях и чугунах, имеющая условное название «перлит», представляет собой механическую смесь зерен твердого раствора углерода в α – Fe (феррит) и зерен химического соединения Fe_3C (цементит).

Диаграмма состояния двухкомпонентных сплавов.

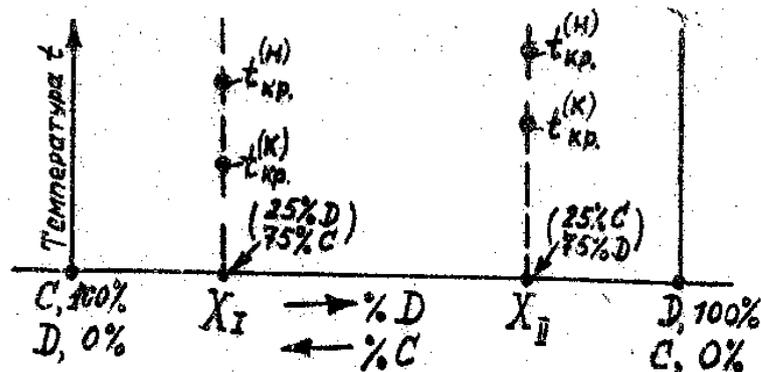


Рис. 2. Пример построения диаграммы состояния двухкомпонентных сплавов

Если принять горизонтальную ось на рис.3 за ось концентрации и отложить на ней точки С и D, условно соответствующие 100% чистого металла С и 100% металла D, то любая точка на отрезке CD может соответствовать сплаву металлов С и D может соответствовать сплаву металлов С и D вполне определенной концентрации. По мере удаления вправо от точки С (рис.3) в сплавах будет увеличиваться количество компонента D и наоборот, количество D будет уменьшаться при удалении влево от точки D.

Вся совокупность сплавов «С – D» и структур, которые образуются в них при изменении температуры и концентрации компонентов С и D называется системой сплавов «С – D».

Процесс кристаллизации сплавов и связанных с ним многие закономерности строения сплавов конкретной системы описывают и изучают с помощью диаграммы состояния.

Диаграмма состояния сплавов представляет собой графически выраженную зависимость фазового состава и структуры сплавов данной системы от температуры и концентрации.

Диаграммы состояния двухкомпонентных сплавов строят в координатах температуры (по оси ординат) – концентрация (по оси абсцисс). Сначала экспериментальным путем исследуют кривые охлаждения большого числа сплавов данной системы; по остановкам и перегибам на кривых охлаждения (рис.4,5), вызванных тепловым эффектом превращения (кристаллизации), определяют температуры начала $t_{кр}^{(H)}$ и окончания $t_{кр}^{(K)}$ процесса кристаллизации в каждом конкретном сплаве данной системы. Затем, экспериментально установленные температурные точки начала $t_{кр}^{(H)}$ и окончания $t_{кр}^{(K)}$ кристаллизации переносят на диаграмму и откладывают их на вертикальных линиях, отвечающих конкретным сплавом (например, рис.3, сплавы X_I и X_{II}). Соединив отдельными кривыми температурные точки начала кристаллизации и температурные точки окончания кристаллизации сплавов данной системы, можно получить две основные линии диаграммы состояния – соответственно «ликвидус» и линию «солидус» (рис.4).

Количественный анализ диаграммы состояния

Независимо от типа диаграммы для всех сплавов, за исключением эвтектических, характерно двухфазное состояние (жидкое и твердое)

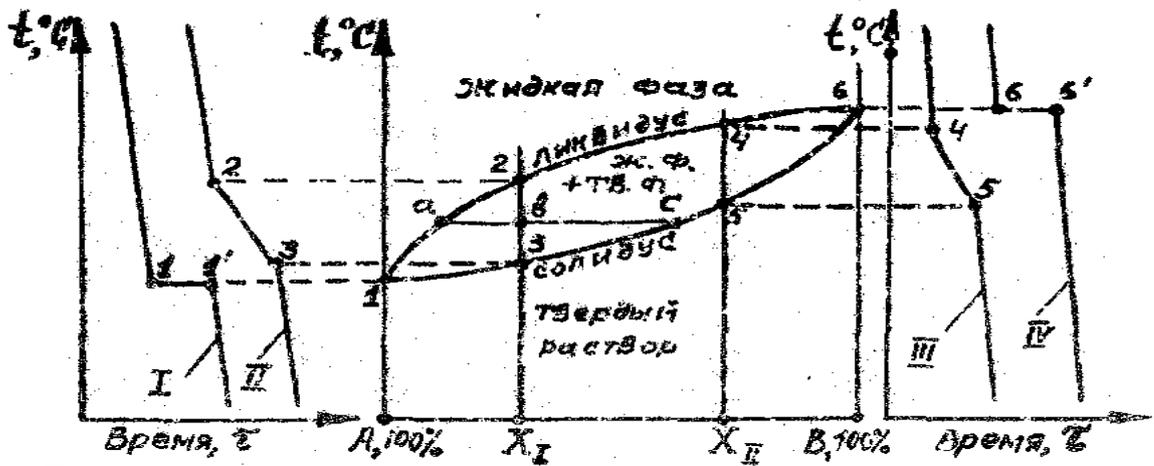


Рис.4 Диаграмма состояния для случая неограниченной взаимной растворимости компонентов А и В в твердом состоянии и кривые охлаждения: 1 - для чистого химического элемента А; 2 - для сплава X_I ; 3 - сплава X_{II} ; 4 - для сплава чистого химического элемента В

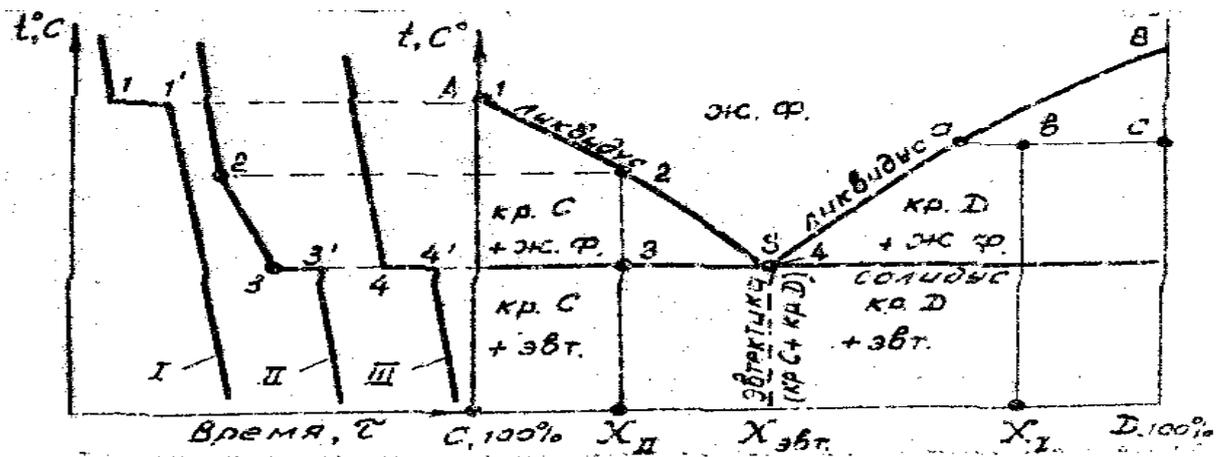


Рис.5. Диаграмма состояния сплавов, компоненты С и D которых взаимно не растворяются в твердом состоянии и не образуют химического соединения, и кривые охлаждения: 1 - для чистого химического элемента С; 2 - для сплава X_{II} ; 3 - для эвтектического сплава $X_{\text{эвт}}$.

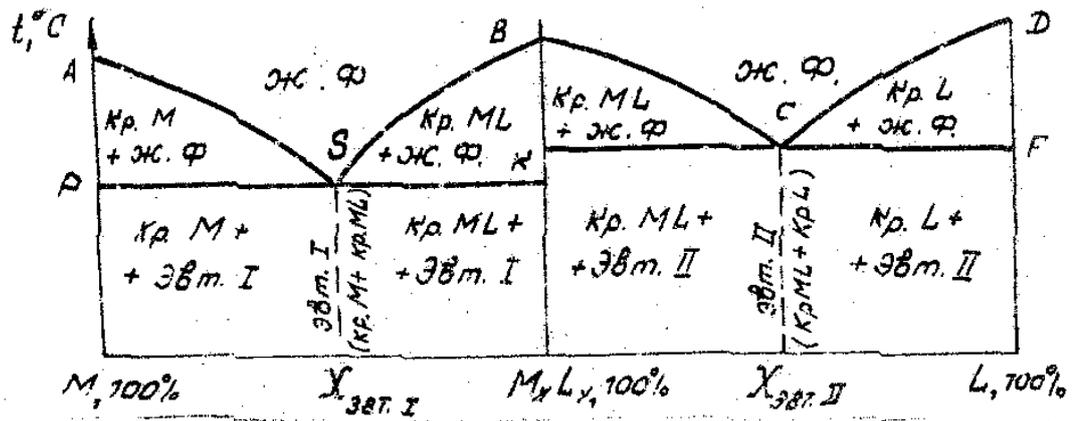


Рис. 6. Диаграмма состояния для случая, когда компоненты М и L сплавов образуют химическое соединение $M_x L_y$ и взаимно не растворимы в твердом состоянии: ASBCD – ликвидуса; PSKCF – линия солидуса.

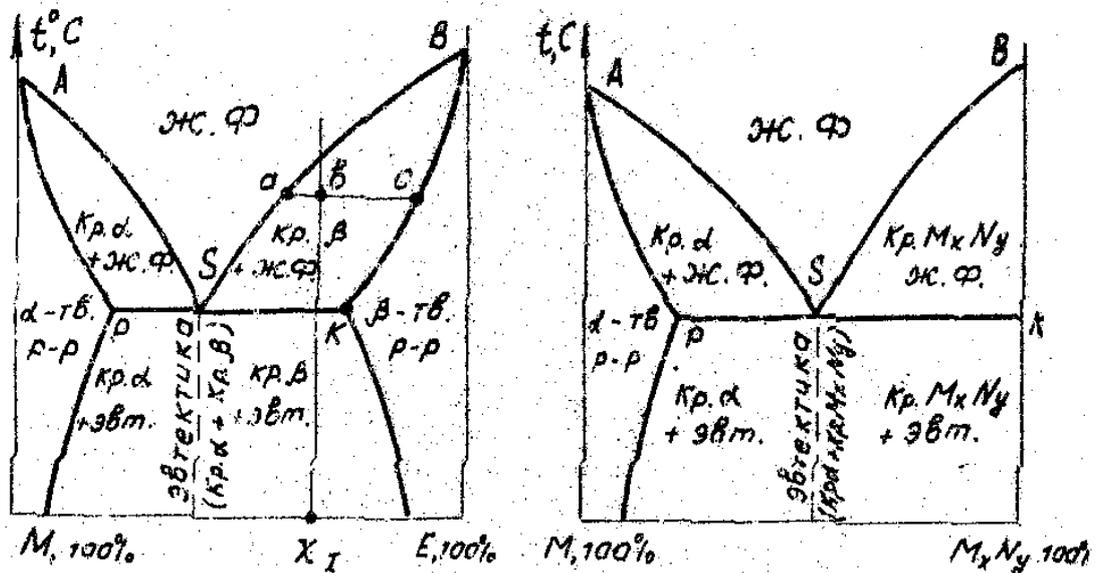


Рис. 7. Диаграмма состояния для сплавов, оба компонента М и Е которые обладают ограниченной взаимной растворимостью в твердом состоянии: ASB – линия ликвидуса; APSKB – линия солидуса.

Рис. 8. Диаграмма состояния для сплавов компоненты М и N которые образуют химическое соединение $M_x N_y$ и обладают ограниченной взаимной растворимостью в твердом состоянии: ASB – линия ликвидуса; APSK – линия солидуса.

в интервале температур, ограниченном линиями «ликвидус» и «солидус». Однако следует иметь в виду, что каждой температуре в этом интервале соответствует вполне определенное количественное соотношение жидкой и твердой фаз в сплаве и вполне определенная концентрация каждой фазы.

Для определения концентрации жидкой и твердой фаз в исследуемом сплаве (например, X_1 см. рис. 4, 5, 7) при любой температуре, лежащей между линией «ликвидус» и «солидус» (например, при температуре, отвечающей уровню точки b, необходимо через данный температурный уровень (через точку b) провести линию, параллельную оси концентрации до пересечения с линиями «ликвидус» и «солидус» (точки пересечения обозначены на рис. 4, 5, 7 малыми буквами соответственно через a и c). Тогда проекция

точки пересечения этой горизонтальной линии с линией «ликвидус» (точка α) на ось концентрации укажет состав жидкой фазы, а точка пересечения с линией «солидус» (точка β) – состав твердой фазы.

Как уже отмечалось, в процессе кристаллизации сплавов изменяется не только концентрация фаз, но и количественное соотношение между ними. Для определения объемного количества жидкой или твердой фазы следует применять правило отрезков. Согласно этому правилу, объемное количество, например, твердой фазы устанавливается по отношению длины отрезка, имеющего общую точку с линией ликвидус (на диаграммах, представленных на рис.4,5,7 этот отрезок обозначен через $\alpha\beta$) ко всей длине горизонтальной прямой, заключенной между линиями «ликвидус» и «солидус» (прямая $\alpha\beta$ на рис.4,5,7). Следовательно, количество твердой фазы (в процентах) при температуре уровня (точка β) в сплавах X_1 (см.рис.4,5,7) $\cdot 100\%$

Если известна общая масса сплава M , то количество твердой фазы в КГС, например, при температуре точки β можно определить следующим образом: $Q_{\text{ТВ}} = (\alpha\beta/\alpha\beta)M$.

Задание

1. Вычертить в соответствии с вариантом задания контуры диаграммы состояния двухкомпонентных сплавов и указать структурные составляющие во всех областях диаграмм.
2. Для заданных сплавов построить кривые охлаждения и описать превращения в этих сплавах, происходящие в процессе их охлаждения от температуры уровня линии «ликвидус» до комнатной температуры.
3. Выбрать для сплава любую температуру между линиями «ликвидус» и «солидус» и определить: состав фаз, т.е. процентное содержание каждого компонента в жидкой и твердой фазе; количественное соотношение фаз, т.е. относительное количество жидкой и твердой фазы в сплаве при рассматриваемой температуре.

Содержание письменного отчета

1. Цель работы.
2. Краткие сведения из теории, включающие: определения терминов «сплав», «компонент», «фаза», «диаграмма состояния» и структур твердого раствора, химического соединения, механической смеси.
3. Диаграмма состояния двухкомпонентных сплавов и кривые охлаждения, построенные в соответствии с индивидуальным заданием.
4. Описание структурных превращений в сплавах, происходящих при охлаждении в заданном интервале температур.
5. Результаты количественного анализа диаграмм состояния (данные по количественному соотношению фаз и их концентрации для конкретных сплавов).

Контрольные вопросы

1. Что такое сплав, компонент, фаза?
2. Что представляют собой твердые растворы замещения и внедрения?
3. Что представляют собой структуры механической смеси?
4. Что отражает диаграмма состояния сплавов; каков принцип ее построения и количественного анализа?
5. Что определяют линии диаграммы – «ликвидус» и «солидус» и от чего зависит их форма (тип диаграммы)?

6. Каково практическое значение диаграммы состояния сплавов?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5 ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ В РАВНОВЕСНОЙ СОСТОЯНИИ

Цель работы

1. Изучить структурные составляющие углеродистых сталей.
2. Проанализировать с помощью правила отрезков количественное соотношение структурных составляющих в сталях с разным содержанием углерода.
3. Исследовать микроструктуру углеродистых сталей в равновесном состоянии.

Краткие теоретические сведения.

В углеродистых сталях, кроме железа и углерода, (компоненты присутствуют) и другие химические элементы – примеси. (Mn, Si, S, P).

Взаимодействуя между собой, железо и углерод образуют в сталях следующие фазы (структурные составляющие):

1. Феррит – твердый раствор углерода в α -Fe (в альфа-железе). Предельная растворимость углерода в ОЦК – решетке железа очень низкая и зависит от температуры: при $+20^\circ\text{C}$ она составляет $0,006\% \text{C}$, а при 727°C – не более $0,02\% \text{C}$. Название «феррит» произошло от латинского ferrum – железо, так как данная фаза и по составу и по свойствам мало отличается от железа. Феррит имеет низкую твердость (НВ 80...90) и высокую пластичность ($\delta \approx 50\%$). При просмотре этой фазы под микроскопом ферритные зурна выглядят в виде светлых участков, разгороженных темной сеткой границ зерен.
2. Аустенит – твердый раствор углерода в γ -Fe (в гамма железе). Растворимость углерода в ГЦК - решетке Fe тоже зависит от температуры, вместе с тем почти на два порядка выше, чем растворимость углерода в α -Fe. Так, например, предельная растворимость углерода в γ -Fe при температуре 727°C составляет $\approx 0,8\% \text{C}$, а с повышением температуры до 1147°C растворимость углерода соответственно увеличивается до $2,14\%$. Как и феррит, аустенит тоже очень пластичен ($\delta \approx 50\%$), а его твердость зависит от температуры и от содержания в сплаве углерода. Данная фаза получила название «аустенит» в честь ее первоисследователя – английского металлурга Р.Аустена. В углеродистых сталях данная фаза является устойчивой только до температур не ниже 727°C . Вследствие существенной зависимости растворимости углерода в аустените от температуры в процессе охлаждения аустенита в интервале температур $1147 \dots 727^\circ\text{C}$ из аустенита выделяется избыточный углерод ($2,14\% - 0,8\% = 1,34\%$), который тут же химически взаимодействует с железом и в результате образуется некоторое количество химического соединения $\text{Fe}_3\text{C}_{(\text{II})}$ – карбида железа.
3. Цементит – химическое соединение углерода с железом Fe_3C (карбид железа). Концентрация углерода в цементите всегда постоянная и составляет $6,67\% \text{C}$. За высокую твердость (НВ 80 ед.) и хрупкость данная фаза и получила условное название «цементит». Цементит обладает плохой травимостью в химических реактивах и при просмотре под микроскопом наблюдается в виде светлых включений.

4. Перлит – это условное название структуры механической смеси зерен феррита и цементита. Данная структура получила название структуры механической смеси зерен феррита и цементита. Данная структура получила название «перлит», потому, что при просмотре ее под микроскопом она выглядит в виде пестрых, «переливчатых» участков, из-за разной травимости в реактиве двух ее различных фаз (феррита и цементита).

В зависимости от формы включений цементита перлит подразделяют на пластинчатый (цементитные частицы имеют форму пластинок) и на зернистый (частицы цементита имеют округлую форму). Пластинчатый и зернистый перлит имеют разные механические свойства:

- пластинчатый перлит: НВ – 210 ед.; $\delta = 15\%$;
- зернистый перлит: НВ – 175 ед.; $\delta = 20\%$.

На рис.1 представлена часть диаграммы состояния железоуглеродистых сплавов (участок для сталей), где указаны фазы, структурные составляющие и их превращения в сталях для условий медленного охлаждения (вместе с печью). При таком медленном охлаждении достигается равновесное состояние (структура) сплавов, которое уже не подвержено самопроизвольному изменению с течением времени.

Сталь с содержанием углерода 0,8%С (эвтектоидный состав) условно называют эвтектоидной сталью. Стали содержащие менее 0,8%С, называют доэвтектоидными, а более 0,8%С – заэвтектоидными сталями.

Как следует из рис.1 с изменением содержания в сталях углерода изменяется и их равновесная структура: доэвтектоидные стали содержат мягкий феррит и более твердый перлит; эвтектоидная сталь имеет только перлитную структуру, а в структуре заэвтектоидных сталей наряду с перлитом присутствует избыточный цементит, обладающий, как уже отмечалось, высокой твердостью и хрупкостью.

Таким образом, по мере увеличения содержания в стали углерода в ее структуре постепенно увеличивается объемная доля очень твердого цементита и соответственно уменьшается объемная доля мягкого феррита. При этом, естественно, повышается твердость и снижается пластичность стали.

Порядок выполнения работы.

Применив правило отрезков (см.лаб.раб.4), можно для любой стали определить количественное соотношение феррита и цементита в ее структуре, как показано на рис.1.

Например, в сплаве X_I , содержащем 0,5%С (рис.1), объемная доля всего цементита (входящего в состав перлита) определится следующим образом:

$$Q_{Fe_3C} = (a_1 b_1 / a_1 c_3) 100\% = (0,94 / 6,664) 100\% \approx 7,4\%$$

В сплаве X_{II} (1,0%С) объемная доля только избыточного цементита составит $Q_{Fe_3C(II)} = (a_2 b_2 / a_2 c_2) 100\% = (0,2 / 5,87) 100\% = 3,4\%$, а общее количество цементита, содержащегося в этом сплаве, определится так:

$$Q_{Fe_3C}^{(общ)} = (a_1 b_3 / a_1 c_3) 100\% = (0,994 / 6,664) 100\% = 14,9\%.$$

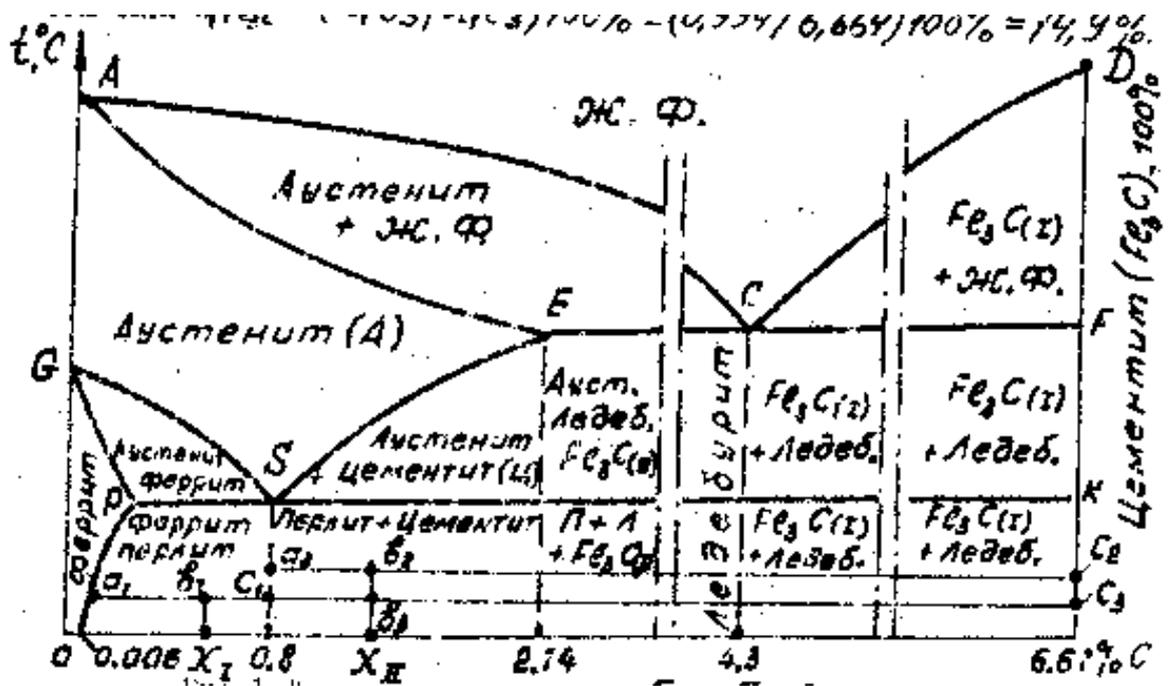


Рис.1. Диаграмма состояния Fe - Fe₃C

При микроанализе доэвтектоидных сталей по количественному соотношению площадей, занятых зернами феррита и перлита на общей площади микрошлифа, наблюдаемой в окуляре микроскопа, можно ориентировочно (с точностью до 0,1%) определить содержание углерода в стали. Например, было установлено при микроанализе стали, что площадь, занятая зернами феррита, составляет примерно 40%, а площадь, занятая зернами перлита, соответственно – 60%.

На диаграмме, представленной на рис.1, проводим горизонтальную прямую a_1c_1 (на температурном уровне, не превышающем уровень линии P S K). В соответствии с примером, рассмотренным на рис.1, длина отрезка a_1c_1 в данном случае составит $a_1c_1 = 0,8 - 0,006 = 0,794$, тогда

$$Q_{\text{ферр.}} = b_1c_1 / a_1c_1 \cdot 100\% = 40\% \text{ или } b_1c_1 = a_1c_1 \cdot 40\% / 100\% = 0,318$$

Следовательно, в исследуемой стали содержится $0,8 - 0,318 \approx 0,48\%$ углерода.

Задание

1. Исследовать под металлографическим микроскопом МИМ – 8 равновесную структуру доэвтектоидных, эвтектоидной и заэвтектоидных углеродистых сталей при комнатной температуре.
2. Ориентировочно оценить соотношение площадей, занятых различными структурными составляющими (ферритом и перлитом) и, применив правило отрезков, определить химический состав доэвтектоидной стали (по углероду).
3. Для заданных марок стали, пользуясь диаграммой состояния «Fe - Fe₃C» (рис.1), построить кривые охлаждения (см. лаб. раб.4).
4. Зарисовать микроструктуры исследуемых сталей (доэвтектоидной, эвтектоидной, заэвтектоидной), сравнивая наблюдаемую с помощью микроскопа картину с соответствующей фотографией в альбоме микроструктур углеродистых сталей.

Содержание письменного отчета

1. Цель работы.

2. Определение структурных составляющих углеродистых сталей аустенита, феррита, цементита и перлита.
3. Часть диаграммы Fe - Fe₃C (участок для сталей см.рис. 1) с построенными для заданных сталей кривыми охлаждения.
4. Рисунки микроструктур доэвтектоидной, эвтектоидной и заэвтектоидной сталей.
5. Результаты оценки объемных долей различных структурных составляющих (например, феррита и перлита в доэвтектоидных сталях) и определения содержания углерода в исследуемой стали.

Контрольные вопросы

1. Что собой представляет аустенит, феррит, цементит и перлит?
2. Какие из перечисленных структур можно наблюдать в углеродистой стали, подвергнутой микроанализу при комнатной температуре?
3. Каковы механические свойства аустенита, феррита, цементита и перлита (твердость, прочность, пластичность)?
4. Каково влияние углерода на твердость феррита, перлита, аустенита, цементита и почему?
5. Почему с увеличением содержания углерода в стали ее твердость увеличивается?
6. Как получить в углеродистой стали равновесную структуру, которая представлена на диаграмме Fe₃C?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ УГЛЕРОДИСТЫХ ЧУГУНОВ В РАВНОВЕСНОМ СОСТОЯНИИ

Цель работы

1. Изучить структурные составляющие углеродистых чугунов.
2. Проанализировать с помощью правила отрезков количественное соотношение структурных составляющих в железоуглеродистых сплавах, содержащих от 2,14 до 6,67%С.
3. Исследовать микроструктуру белого, ковкого, серого и высокопрочного чугуна в равновесном состоянии.

Краткие теоретические сведения

Чугуны – железоуглеродистые сплавы, содержащие свыше 2% углерода. Применяемые в промышленности чугуны содержат не более 4,3% углерода, редко – 5%.

Также, как и в сталях, в углеродистых чугунах, кроме железа и углерода, присутствуют другие химические элементы-примеси (Mn, Si, P, S), вместе с тем железо и углерод по-прежнему являются компонентами этих сплавов и, взаимодействуя между собой, образуют в чугунах следующие фазы и структурные составляющие: аустенит, феррит, цементит, перлит, ледебурит и графит. Первые четыре структуры даны в лабораторной работе 5.

Ледебуритом (в честь французского ученого Ледебура) названа структура эвтектической смеси зерен аустенита и цементита, образующаяся непосредственно

из жидкой фазы во всех сплавах, содержащих от 2,14 до 6,67%С при их охлаждении до температуры солидус 1147°С (см. рис.1).

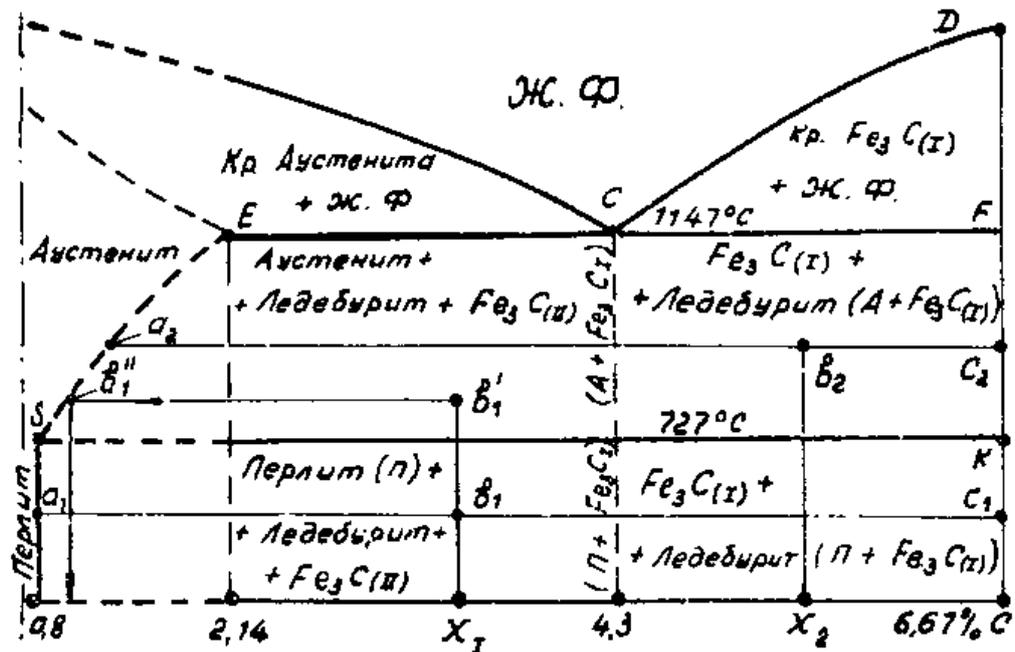


Рис.1. Часть диаграммы Fe - Fe₃C иллюстрирующая равновесную структуру белых чугунов.

Так как в процессе дальнейшего охлаждения этих сплавов до температуры 727°С происходит эвтектоидное превращение аустенита в перлит (см. лаб. раб.5), то структура ледебурит при t°С < 727°С будет представлять механическую смесь перлита и цементита (рис.1). Ледебурит очень твердая (НВ 700 ед.) и хрупкая структура, так как в ее составе много цементита. После травления при наблюдении под микроскопом она выглядит в виде светлых участков цементита с темными пятнами перлита (рис.2,а).

Графит – это химически чистый углерод имеет гексагональную решетку и низкие механические свойства (НВ 3... 4 ед. $\delta \approx 0\%$), поэтому графитные включения в металлической структуре чугуна рассматриваются как своеобразные пустоты, надрезы или даже, как трещины, существенно нарушающие сплошность (монолитность) сплава и снижающие его механические свойства. При прочих одинаковых условиях, чем мельче графитные включения, чем более округлая форма у них и чем равномернее они распределены по сечению (объему) отливки, тем выше прочностные показатели чугуна и наоборот.

Вместе с тем графитные включения в чугуне имеют и определенное положительное предназначение:

- улучшают обрабатываемость чугуна резанием, его износостойкость и антифрикционность, выполняя роль своеобразной твердой «смазки»;
- повышают демпфирующую способность сплава, т.е. способность гасить вибрацию.

Углерод в чугунах может находиться:

- А) в основном только в виде цементита (белый чугун);
- Б) в основном только в виде графита (ферритный серый и ковкий чугун) или в виде графита и цементита одновременно (перлитный серый и высокопрочный чугун).

Таким образом, только белый чугун имеет более или менее монолитную металлическую структуру (она представлена на диаграмме «Fe - Fe₃C» см. область для чугунов, рис. 1).

Все другие разновидности чугуна (ковкий, серый, высокопрочный) кроме металлической структуры (такой же, как и у сталей: феррит, перлит, феррит и перлит) имеют еще и неметаллическую структуру – графитные включения разной геометрии.

Белый чугун

Получил такое название по цвету излома, который имеет белый цвет из-за большого содержания в этом чугуне цементита. На примере эвтектического железоуглеродистого сплава (4,3%С) покажем, что в белом чугуне преобладает в структуре Fe₃C и что почти весь углерод химически связан с железом.

В соответствии с диаграммой «Fe - Fe₃C» (рис. 1) структурой сплава, содержащего 4,3%С, является ледебурит, представляющий собой механическую смесь перлита и цементита: Ледебурит → Перлит + Fe₃C_(l) → (Феррит + Fe₃C_(l)) + Fe₃C_(l).

Нам уже известно из предыдущей работы, что предельная растворимость углерода в α – Fe (в феррите) не превышает 0,006% (при +20°С) и 0,02% (при +727°С). Следовательно, из 4,3% углерода, содержащегося в данном чугуне, в химически связанном с железом состоянии (т.е. в цементите) будет находиться почти весь углерод, содержащийся в этом чугуне.

Преобладание в структуре белого чугуна очень твердого и хрупкого цементита предопределяет и его механические свойства: очень высокая твердость (НВ 500) и хрупкость. Поэтому белый чугун очень ограниченно применяется в машиностроении, в качестве конструкционного материала, а используется, в основном, для переработки в сталь или в ковкий чугун.

Ковкий чугун

Ковкий чугун получают из белого чугуна с помощью специального, графитизирующего отжига. Основная цель этого отжига заключается в том, чтобы путем нагрева и длительной (многочасовой) выдержки белого чугуна при температурах 950+1000°С (близких к температуре солидуса) разложить цементит в структуре белого чугуна на аустенит и графит (углерод отжига), так как Fe₃C при высоких температурах нагрева оказывается неустойчивым.

Если по окончании выдержки при 950-1000°С произвести охлаждение сплава сразу до комнатной температуры, то в процессе охлаждения аустенит превратится в перлит (при 727°С) и поэтому структура полученного ковкого чугуна будет состоять в данном случае из перлита и графитных включений хлопьевидной формы (рис.2,в). Если же процесс охлаждения чугуна прервать и сделать еще одну выдержку при температурах 720-740°С, то вторичный цементит, входящий в состав перлита, тоже распадется в процессе выдержки – на феррит и графит. Полученный по такому варианту отжига ковкий чугун будет иметь только ферритовую металлическую структуру и графитные включения хлопьевидной формы (рис.2,б).

Изменения, происходящие в структуре белого чугуна в процессе его отжига, обуславливают и изменение его свойств: снижается твердость и хрупкость, повышается прочность и пластичность.

При одинаковой объемной доле и размерах графитных включений в перлитном и ферритном ковком чугунах, первый будет более прочен, а второй – более пластичен.

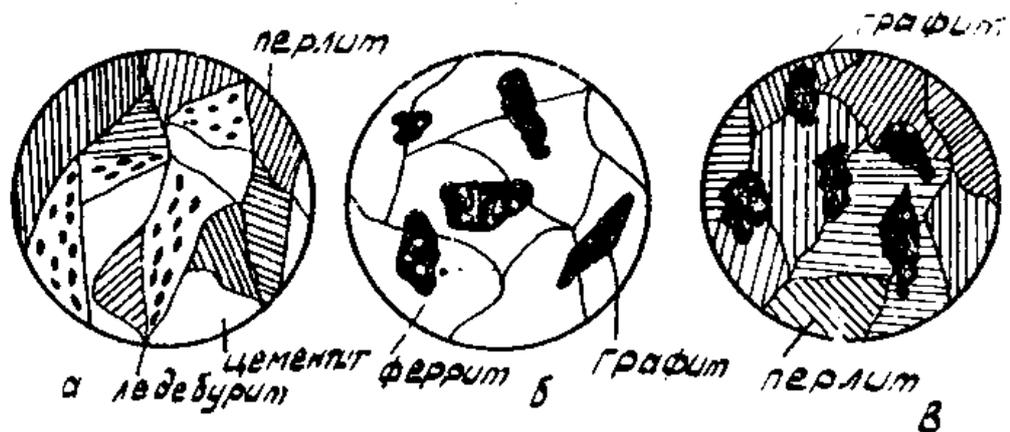


Рис.2. Схема микроструктуры чугуна:
 а – белого – до эвтектического чугуна; б – ферритного ковкого; в – перлитного ковкого.

Серый чугун

Как и белый чугун, данный вид чугуна получил название “серый” тоже по цвету излома: присутствие в сером чугуне графитных включений в форме пластинок или чешуек придает излому этого чугуна характерный серый цвет.

По структуре металлической основы, которая зависит от содержания в чугуне кремния, серый чугун подразделяется на ферритный, перлитный и ферритно – перлитный (рис.3,а,б,в).

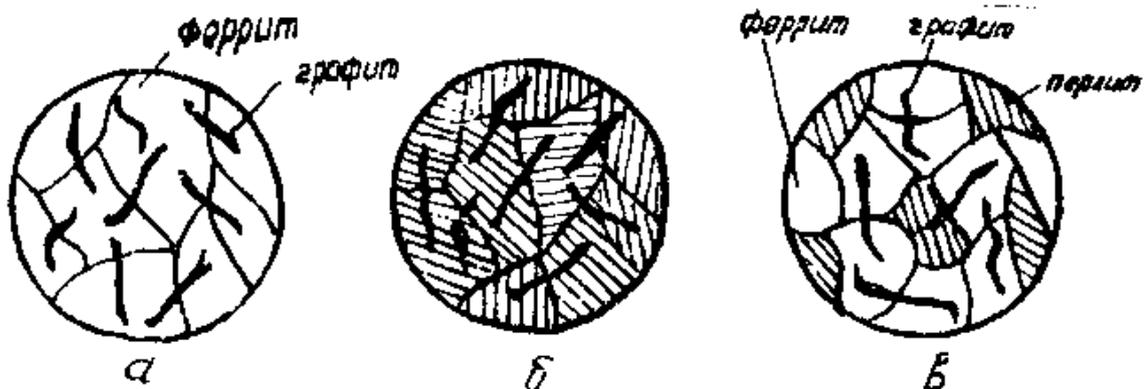


Рис.3. Схема микроструктуры чугуна:
 а – серого ферритного; б – перлитного; в – ферритно-перлитного.

Так как форма графитных включений в сером чугуне близка к форме надразов или трещин, он обладает низкой прочностью на растяжение и на удар. Поэтому серый чугун, имея высокие литейные свойства и хорошую обрабатываемость резанием, применяются в основном, для изготовления литых корпусных деталей машин и станков.

Если в исследуемом сером чугуне содержится, например, 3,5%С, то в случае ферритного серого чугуна почти весь углерод будет находиться в графите (3,494%С), так как содержание углерода в феррите при +20°С не превышает 0,006%С. Если же чугун окажется перлитным, то в его металлической структуре (в перлите) будет находиться 0,08%С, а в неметаллической структуре (графите) -2,7%С.

При одинаковых размерах и объемной доле графитных включений в различных по структуре серых чугунах, наибольшей прочностью будет обладать перлитный серый чугун.

Высокопрочный чугун

Измельчение неметаллических графитных включений и придание им округлой (шаровидной) формы, естественно, должно способствовать повышению прочности чугуна. Этого можно достичь путем модифицирования – введения и расплавленный серый чугун магния (0,03 – 0,07% от веса жидкого чугуна). Под влиянием магния в процессе кристаллизации чугуна образующиеся графитные включения приобретают шаровидную форму (см.рис.4,а,б), при которой существенно снижается концентрация напряжений перед включениями и соответственно повышается прочность чугуна.

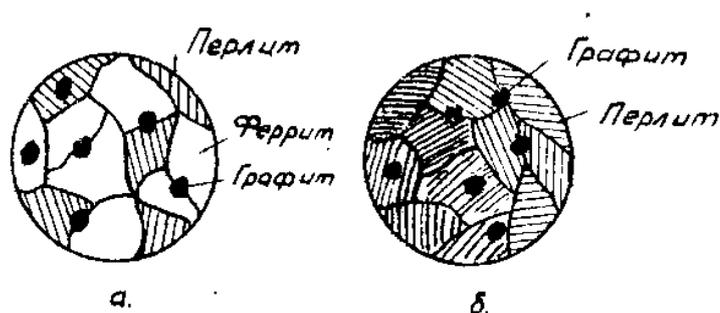


Рис. 4. Схема микроструктуры высокопрочного чугуна с ферритно-перлитной (а) и с перлитной (б) структурой металлической основы.

Как следует из схемы, представленной на рис.4, микроструктура металлической основы высокопрочного чугуна не отличается от исходного серого чугуна. Сохраняя почти все преимущества серого чугуна (высокие литейные и антифрикционные свойства, хорошую обрабатываемость резанием), высокопрочный чугун с шаровидным графитом имеет более высокий предел прочности при растяжении ($\sigma_B=45 \dots 70 \text{ кг/мм}^2$), ударную вязкость ($\alpha_N=1,5 \dots 3 \text{ кгм/см}^2$) и даже удовлетворительную пластичность ($\delta=10 \div 15\%$).

Приближаясь по прочности и пластичности к стали, высокопрочный чугун в ряде случаев заменяет стальное литьё и даже ковannую сталь.

Задание

1. Исследовать под металлографическим микроскопом структуру белого, ковкого, серого и высокопрочного чугуна.
2. Зарисовать микроструктуры исследуемых чугунов, сравнивая наблюдаемые с помощью микроскопа картины с соответствующими фотографиями в альбоме микроструктур углеродных чугунов.
3. Пользуясь диаграммой “Fe -Fe₃C” (участок для чугунов), определить с помощью правила отрезков количественное соотношение и концентрацию по углероду аустенита, перлита и цементита, входящих в структуру исследуемых белых чугунов с различным содержанием углерода (см.лаб.раб.5).
4. Для заданных сплавов (чугунов) построить кривые охлаждения (см.лаб.раб.4).

Содержание письменного отчета

1. Цель работы.
2. Определения структурных составляющих – ледебурита и графита.
3. Часть диаграммы Fe -Fe₃C (участок для чугуна см.рис.1) с построенными кривыми охлаждения для сплавов с заданным содержанием углерода.

4. Рисунки микроструктуры белого, ковкого, серых (ферритного, перлитного, ферритно-перлитного) и высокопрочного чугунов.
5. Результаты расчета объемных долей различных структурных составляющих (см. задание, пункт 3).

Контрольные вопросы

1. Что собой представляют ледебурит и графит? Каковы их свойства?
2. Какова структура доэвтектического, эвтектического и заэвтектического белого чугуна?
3. Какие механические свойства (твердость, пластичность, прочность) у белых чугунов и почему.
4. Каково основное предназначение белого чугуна в машиностроении?
5. Что представляет собой ковкий чугун и как его получают?
6. Каковы структура и свойства ковкого чугуна?
7. В каком состоянии (в свободном или в химическом связанном) находится углерод в ковком чугуне?
8. Каковы структура и свойства серого чугуна?
9. От чего зависит металлическая основа структуры серого чугуна?
10. На какие виды подразделяется серый чугун по структуре металлической основы?
11. Каковы механические свойства ферритного, перлитного и ферритно – перлитного серого чугуна?
12. Каково влияние формы и размеров графитных включений в структуре чугунов на их механические свойства?
13. Почему прочность на растяжении у серого чугуна при одинаковой структуре металлической основы (например, феррит и перлит) значительно ниже, чем у стали?
14. Какова технология получения и структура высокопрочного чугуна?
15. За счет чего механические свойства (прочность, пластичность) у высокопрочного чугуна оказываются выше, чем у серого чугуна?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ТЕРМИЧЕСКИ ОБРАБОТАННОЙ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

Цель работы

Исследовать микроструктуру углеродистой стали после отжига, нормализация, закалки и отпуска.

Краткие теоретические сведения

При выполнении лабораторной работы 4 мы ознакомились с равновесной микроструктурой углеродистых сталей. В частности, для эвтектоидной стали (0,8%С) равновесной структурой является «перлит» (рис.1), представляющий собой структуру механической смеси зерен мягкого феррита и твердого цементита. Эту структуру можно получить только в условиях очень медленного охлаждения стали (вместе с печью $U_{\text{охл}} \approx 40 \dots 80^\circ/\text{ч}$) при температуре $t \approx 720^\circ\text{C}$. Если же эвтектоидную сталь с предварительно полученной в ней аустенитной структурой попытаться охладить с большей скоростью, например, не в печи, а на воздухе, то распад аустенита произойдет при более низкой температуре, чем в предыдущем случае. В результате будет получена более дисперсная структура механической смеси феррита и цементита: зерна феррита и цементита будут

меньших размеров и расстояния между твердыми включениями цементита в феррите, естественно, тоже уменьшаются. Такая, более дисперсная, а следовательно, и более твердая по сравнению с перлитом структура ферритно - цементитной механической смеси, образующаяся из аустенита в процессе охлаждения стали на воздухе (нормализация, $v_{\text{охл}} \approx 50^\circ/\text{C}$), называется «сорбит».

Дальнейшее повышение скорости охлаждения стали с аустенитной структурой обусловит распад аустенита в ней при еще более низких температурах с образованием еще более дисперсной, чем сорбит, структуры механической смеси феррита и цементита, получившей название «троостит».

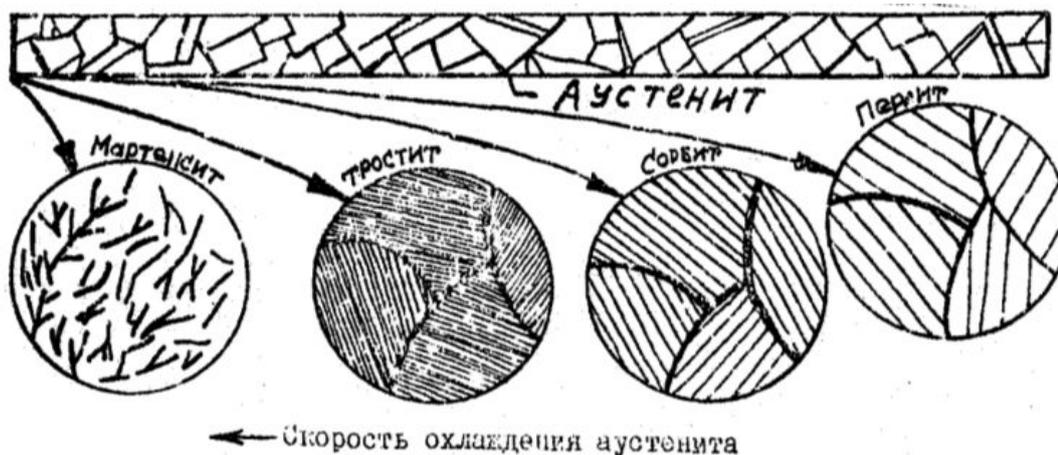


Рис.1. Схема влияния скорости охлаждения аустенита на структуру стали.

Аналогичные структурные изменения, зависящие от режима охлаждения, происходят и в структуре до- и заэвтектоидной стали. Различие заключается лишь в том, что в доэвтектоидной стали, наряду с эвтектоидом – перлитом, сорбитом или трооститом, образуется избыточный феррит, а в заэвтектоидной стали – избыточный цементит вторичный.

Если углеродистую сталь после того, как в ней будет получена при нагревании структура аустенит, охладить не в печи, не на воздухе, а например, в воде ($v_{\text{охл}} \geq 180 \dots 200^\circ/\text{ч}$), то продуктом распада аустенита будет являться уже не структура ферритно-цементитной механической смеси, как в предыдущих случаях, а структура пересыщенного твердого раствора углерода в ОЦК – решетке железа, образующегося вследствие распада переохлажденного аустенита бездиффузионным путем при относительно низких температурах. Эта структура называется «мартенсит». Структура «мартенсит» имеет иглообразную форму кристаллических зерен и ее легко можно отличить при микроанализе от структур ферритно-цементитной механической смеси – перлита, сорбита, троостита (рис.1).

Структура мартенсита, как и все пересыщенные растворы, неустойчива и при нагреве распадается – избыточный углерод, пересыщающий кристаллическую ОЦК – решетку железа, постепенно выделяется из нее и, таким образом, происходит частичный или полный (в зависимости от температуры нагрева) распад мартенсита.

Нагрев стали с мартенситной структурой до $180 \dots 200^\circ\text{C}$ (низкий отпуск) еще не обнаруживает при микроанализе существенных структурных изменений; повышается лишь интенсивность травления данной структуры, в результате чего иглы мартенсита при микроскопическом исследовании имеют более темную окраску (низко отпущенный мартенсит).

Если сталь с мартенситной структурой нагреть до 300 ... 400°С (средний отпуск), то структура «мартенсит» почти полностью распадется на очень дисперсную структуру ферритно - цементитной механической смеси – «тростит отпуска».

При еще более высоких температурах нагрева стали с мартенситной структурой до 500 ... 600°С (высокий отпуск) дисперсность продуктов распада мартенсита снижается за счет образования более крупных частиц цементита, а образующаяся при этом структура называется «сорбит отпуска».

Следует отметить, что тростит и сорбит отпуска, как продукты распада мартенсита, отличаются по строению от сорита и троостита, полученных непосредственно из аустенита: последние имеют пластинчатое строение, а тростит и сорбит отпуска – зернистое строение.

Таким образом, одна и та же по дисперсности структура ферритно - цементитной механической смеси (например, сорбит), но полученная из аустенита (нормализация) или из мартенсита (закалка и высокий отпуск) имеет отличительные особенности в строении (форма зерна цементита), а следовательно, и различные свойства.

Уместно напомнить, что в структуре доэвтектоидных (конструкционных) сталей, подвергнутых нормализации, наряду с сорбитом, присутствует еще и избыточный феррит, вносящий дополнительное различие в строении и свойства сталей, прошедших нормализацию и улучшение (закалку с высоким отпуском).

При исследовании с помощью металлографических микроскопов структур «сорбит» и «троостит» выявить в них (как в перлите) равномерно чередующиеся микроучастки феррита и цементита не удастся из-за высокой дисперсности этих структур и низкой разрушающей способности световых микроскопов.

Задание

1. Исследовать микроструктуру доэвтектоидной, эвтектоидной и заэвтектоидной углеродистой стали после различных видов термической обработки (отжига, нормализации, закалки и высокого отпуска).
2. Выявить особенности строения доэвтектоидной стали после нормализации и закалки с высоким отпуском.
3. Зарисовать микроструктуры стали, полученные после отжига, нормализации, закалки и высокого отпуска.

Порядок выполнения работы

1. Установить (поочередно) исследуемые микрошлифы на предметный столик микроскопа (полированной и протравленной поверхностью вниз).
2. Произвести настройку микроскопа на фокус так, чтобы добиться наилучшей четкости изображения микроструктуры, просматриваемой через окуляр.
3. Путем перемещения предметного столика с установленным микрошлифом в двух взаимно перпендикулярных направлениях просмотреть через окуляр микроскопа всю поверхность травленного шлифа с целью выбора для исследования наиболее характерных и контрастных фрагментов микроструктуры.
4. Исследуя отдельные фрагменты поверхности травленного шлифа, необходимо сравнить наблюдаемую микроструктуру с фотографией соответствующей микроструктуры в альбоме.
5. Зарисовать все исследованные микроструктуры, списать их характерные особенности и сопоставить между собой.

Содержание письменного отчета

1. Цель работы
2. Краткая характеристика структуры стали после различных видов термической обработки.
3. Рисунки исследованных структур с указанием конкретных структурных составляющих.
4. Краткое описание отличительных особенностей микроструктур, полученных в стали в процессе нормализации и закалки с высоким отпуском.
5. Заключение о характере влияния углерода на структуру стали после закалки, нормализации, отжига.

Контрольные вопросы

1. Как влияет режим охлаждения стали при термической обработке на ее структуру?
2. Чем отличается (по строению) перлит от сорбита и троостита?
3. Что собой представляет структуру «мартенсит» и как она выглядит под микроскопом?
4. Каково отличие сорбита и троостита закалки от сорбита и троостита отпуска?
5. Чем отличается структура доэвтектоидной стали после нормализации от структуры, полученной после закалки и высокого отпуска?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

МИКРОАНАЛИЗ ЦВЕТНЫХ СПЛАВОВ

Цель работы

Изучение микроструктуры некоторых широко применяемых медных и алюминиевых сплавов и знакомство с их свойствами.

Краткие теоретические сведения

Медные сплавы. Медные сплавы делятся на две группы: латуни и бронзы. Латунями называются сплавы меди с цинком. Бронзовыми называются сплавы меди с другими элементами (оловом, алюминием, свинцом, бериллием, кремнием, марганцем, сурьмой, никелем и другими). Цинк может входить в состав бронз в небольших количествах, вместе с другими элементами, но не как основной легирующий элемент.

Латуни. Латуни подразделяются на двойные (простые) и специальные (сложные). Двойные латуни представляют собой двухкомпонентные сплавы меди с цинком. В специальные латуни для придания им тех или иных свойств вводят, кроме цинка, различные элементы.

Латуни двойные (простые). Латуни маркируются заглавной буквой Л, за которой следует цифра, показывающая процентное содержание меди (процентное содержание цинка в марке латуни не указывается и определяется путем вычитания содержания меди из ста процентов): Л63, Л68, Л70, Л80, Л90, Л96.

Практическое применение имеют латуни с содержанием цинка до 44%. При содержании цинка менее 39% латуни имеют однофазную структуру α – твердого раствора замещения цинка в меди с кубической гранцентрированной решеткой и называются α – латунями.

Альфа – латуни обладают высокой пластичностью в холодном состоянии ($\delta = 40\%$) и относительно невысокой прочностью – $\sigma_B \leq 294$ МПа (см.рис.1). Поэтому латуни марок Л63, Л68, Л70 используют в виде тонких листов, лент и других полуфабрикатов, из которых штампуются различные детали.

На рис.2 показана схема микроструктуры деформированной и отожженной латуни Л70. Структура состоит из зерен α – твердого раствора, имеющих несколько различную структуру. Зерна твердого раствора в пространстве ориентированы по разному и поэтому «разрезаются» плоскостью шлифа по разным плоскостям. Вследствие неодинаковости свойств по разным плоскостям и направлениям (анизотропия), каждое зерно прореагирует с химическим реактивом по-разному: один сильнее растворяется, другие больше рассеят лучей, третьи будут выглядеть при освещении в микроскопе более темными. Кроме того, внутри зерен α – твердого раствора видны полосы, ограниченные двумя параллельными линиями, с иной окраской, чем остальной объем зерен. Это так называемые двойники, появление которых обусловлено протеканием деформации способом, характерным для металлов и сплавов с кубической гранецентрированной решеткой (путем двойникования).

Латуни Л70, имея 30% цинка, обладает максимальной пластичностью (см.рис.1), поэтому из нее изготавливают детали, получаемые глубокой вытяжкой (в частности, гильзы), радиаторные ленты, полосы, трубы теплообменников и др.

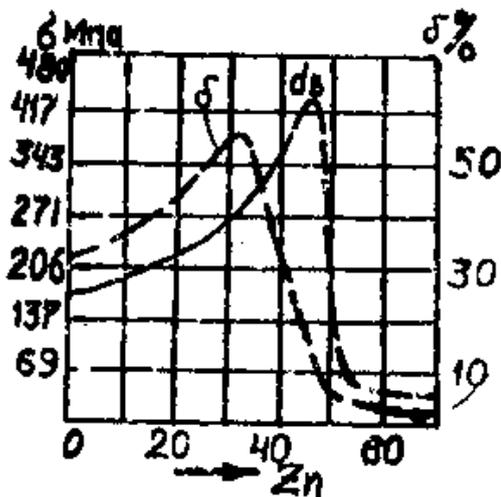


Рис.1. Влияние цинка на химические свойства меди.



Рис.2. Латуни Л70 (альфа-фаза с двойниками).

При содержании цинка более 39% латуни имеют двухфазную структуру, состоящую из α и β – твердых растворов и называются $\alpha + \beta$ – латунями.

Двухфазные $\alpha + \beta$ – латуни имеют большую прочность ($\sigma_B \approx 343 \div 412$ МПа), но меньшую пластичность ($\delta = 20\%$), по сравнению с α – латунями.

Латуни сложные (специальные). В специальные латуни помимо цинка вводят еще другие элементы. Например, свинец вводят для улучшения обрабатываемости резанием (автоматная латуни ЛС59-1), олово – для повышения сопротивления коррозии в морской

воде (ЛО 70-1), алюминий и никель – для повышения механических свойств (латунь ЛАН59-3-2).

В марках специальных латуней дополнительно вводимые элементы показываются путем написания за буквой Л первых заглавных букв их русских названий. Процентные содержания этих элементов проставляются в марке цифрами, которые пишутся через тире после первой цифры, соответствующей содержанию меди, и в той последовательности, в которой написаны буквы, обозначающие эти элементы.

На рис.3 показана схема структуры специальной латуни ЛС59-1. Так как в этой латуни содержится более 39% цинка, то структура ее состоит из α – твердого раствора (светлые участки) и β – твердого раствора (темные участки).



Рис.3. Латунь ЛС59-1 (альфа и бета фазы и включения свинца).

Кроме того, в латуни ЛС59-1 введен 1% свинца, который в твердом состоянии в меди не растворяется и поэтому виден в виде отдельных включений (темные точки на рис.3).

Бронзы. Перед маркой бронзы ставятся две буквы Бр, вслед за которыми пишутся русские заглавные буквы, соответствующие начальным буквам русского названия вводимых элементов (например, О - олово, А – алюминий, С – свинец, Ж – железо, Б – бериллий, Ф – фосфор, Х – хром, Н – никель и так далее). После букв ставятся через тире цифры, соответствующие процентным содержаниям элементов. Они проставляются в той последовательности, в которой поставлены буквы. Между последней буквой и первой цифрой тире не ставится. Содержание меди определяется путем вычитания из суммарного содержания легирующих элементов и примесей. В промышленности широко применяют оловянные, свинцовые, алюминиевые, бериллиевые и другие бронзы. Рассмотрим некоторые из них.

Бронзы оловянные. Сплавы меди с оловом называются оловянными бронзами. Структура литой бронзы при содержании олова менее 5-6% состоит из α – твердого раствора, который представляет собой твердый раствор замещения олова в меди с гранцентрированной кубической решеткой.

Структура литых бронз, содержащих более 5-6% олова, состоит из α – твердого раствора и эвтектоидом - механической смеси $\alpha + \text{Cu}_x \text{Sn}_y$. Вторая фаза $\text{Cu}_x \text{Sn}_y$ является соединением.

В отложенных оловянных бронзах граница между однофазными и двухфазными бронзами соответствует 14% олова.

При увеличении содержания олова повышается прочность оловянных бронз (см.рис.4), но уже при содержании олова более 20% прочность резко падает и бронза становится хрупкой.

Пластичность оловянных бронз начинает снижаться уже при содержании 5% олова. Оловянные бронзы имеют малую усадку. Основные области их применения – сложные отливки, вкладыши подшипников, арматура.

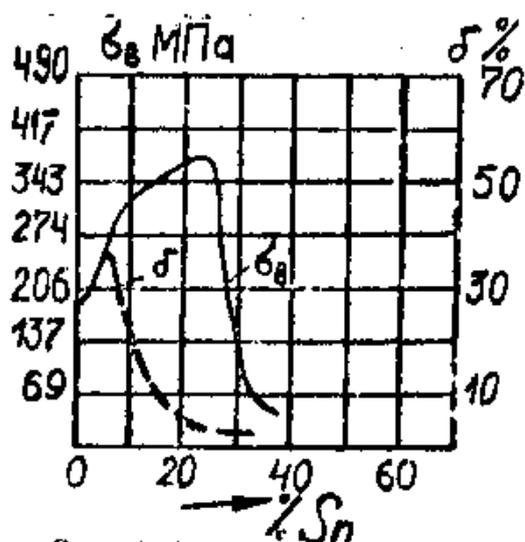


Рис. 4. Влияние олова на механические свойства меди.



Рис. 5. Бронза - оловянная BrO16 (альфа-фаза и эвтектоид $\alpha + Cu_x Sn_y$).

Для улучшения обрабатываемости резанием этих бронз в них добавляют 3-5% свинца, фосфор улучшает литейные свойства, повышает твердость, прочность, упругие и антифрикционные свойства.

Наиболее распространенными оловянными бронзами являются бронзы марок Br.O10; Br.OФ6, 5-0,15; BrОЦС-5-5 и другие.

Бронзы свинцовые. Сплавы меди со свинцом называются свинцовыми бронзами. Свинец не растворяется в твердом состоянии в меди и поэтому свинцовые бронзы после затвердения состоят из кристаллов меди и включений свинца (см.рис.6).

Микроанализ свинцовой бронзы BrС30 выявляет в структуре светлые участки (зерна меди) и темные (включения свинца). Свинец располагается по границам зерен меди или в междендритных пространствах (рис.6).

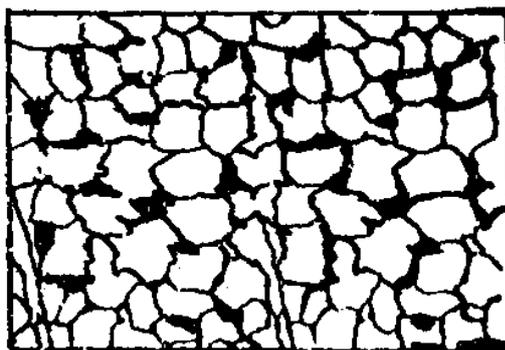


Рис. 6. Свинцовая бронза BrС30 (медь и свинец)

Равномерное распределение свинца и меди обеспечивает высокие антифрикционные свойства сплава.

Бронза BrС30 имеет низкие механические свойства: предел прочности $\sigma_B \approx 59$ МПа, относительное удлинение $\delta \approx 4\%$, но обладает высокой теплопроводностью (в 4 раза больше, чем у оловянных бронз) и допускает большой нагрев. Поэтому ее используют для изготовления высоконагруженных биметаллических подшипников, в которых бронза наплавлена тонким слоем на сталь. Такие подшипники просты в изготовлении и легко заменяются при износе.

Алюминиевые сплавы. Диаграммы состояния сплавов «Алюминий – легирующий элемент» все одного типа: это диаграмма с ограниченной растворимостью в твердом состоянии и с эвтектическим превращением (рис.7).

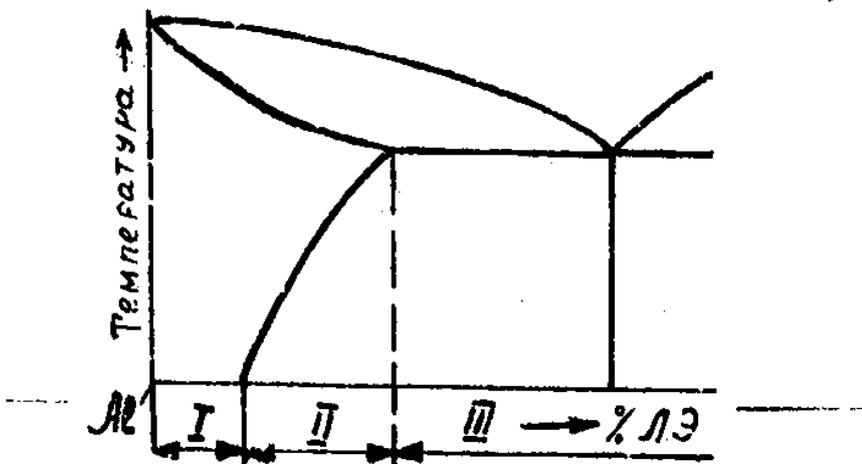


Рис.7. Диаграмма состояния алюминий – легирующий элемент:
 1 – деформируемые сплавы не упрочняемые термической обработкой;
 2 – деформируемые сплавы, упрочняемые термической обработкой;
 3 – литейные сплавы.

Все алюминиевые сплавы делятся на две группы: на деформируемые и на литейные сплавы. В свою очередь, деформируемые сплавы алюминия подразделяются на упрочняемые и не упрочняемые термической обработкой сплавы.

Однофазные сплавы (только со структурой твердого раствора), содержащие легирующего элемента меньше предела его растворимости в алюминии при комнатной температуре, пластичны в холодном и горячем состоянии и являются деформируемыми, но не упрочняемыми термообработкой (см.рис.7, сплавы 1).

Если сплав содержит легирующего элемента больше его растворимости в алюминии при комнатной температуре, но меньше максимальной растворимости при высокой температуре, то появляется возможность получения пересыщенных твердых растворов. Такие сплавы остаются еще достаточно пластичными, относятся к группе деформируемых и могут упрочняться термической обработкой (см.рис.7, сплавы 2).

Если концентрация легирующего элемента превышает его максимальную растворимость в алюминии, то в структуре, наряду с твердым раствором, появляется эвтектическая составляющая. Появление эвтектики резко повышает жидкотекучесть сплава. Такие сплавы относятся к группе литейных (см.рис.7, сплавы 3).

Алюминиевый деформируемый жаропрочный сплав АК4. Сплав АК4 помимо меди (1,9 – 2,5%) и магния (1,4 – 1,8%) содержит никель (0,8 – 1,4%), железо (0,8 – 1,4%), кремний (0,5 – 1,2%). Металлы, входящие в состав сплава, частично растворяются в алюминии, образуя α – твердый раствор. Те количества легирующих элементов, которые не растворились в алюминии, образуют между собой химические соединения, наблюдаемые при микроанализе в виде темных включений, разных по цвету, форме, размерам, вытянутых в цепочке по направлению деформации. Таким образом, структура сплава АК4: твердый раствор (белый фон) и химические соединения – интерметаллиды (темные включения, рис.8).

Из сплава АК4 изготавливают детали, работающих при температурах до 350°C (поршни, головки цилиндров, диски, крыльчатки компрессоров и др.).

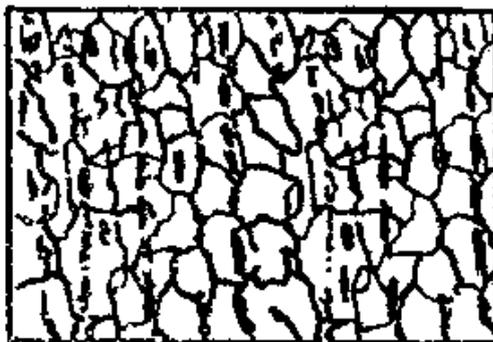


Рис.8. Алюминиевый сплав АК4 (α – твердый раствор и химические соединения – интерметаллиды)

Алюминиевый литейный сплав АЛ4. Сплав АЛ4 является доэвтектическим, содержит 8,0 – 10,5% кремния, 0,17 – 0,3% магния, 0,2 – 5% марганца.

Не модифицированный сплав имеет в структуре (рис.9): α – твердый раствор (крупные светлые поля) и эвтектику, состоящую из крупных игл кремния (темные участки на схеме) и из α – твердый раствора (белые участки между иглами кремния).

Грубые крупные иглы кремния играют роль внутренних надразов в пластичном α – твердом растворе, что снижает механические свойства не модифицированного сплава: предел прочности не превышает 150 МПа, а относительное удлинение – 2%.



Рис.9. Немодифицированный сплав АЛ4 (α – твердый раствор и грубо-игольчатая эвтектика).

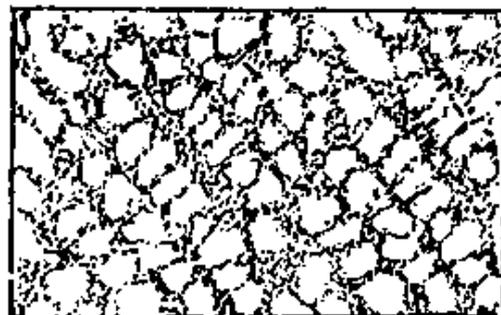


Рис.10. Модифицированный сплав АЛ4 (α – твердый раствор и эвтектика дисперсная).

Повышение механических свойств сплава АЛ4 достигается модифицированием (введением в жидкий сплав натрия или смесей его солей). В модифицированном сплаве образуется дисперсная эвтектика, состоящая из α – твердого раствора (светлый фон) и мелких включений кремния (темные, мелкие пятна, рис.10).

Измельчение эвтектики в результате модифицирования обеспечивает повышение прочности сплава АЛ4 до 235 МПа.

Сплавы АЛ4 применяют для изготовления крупных и сложных по конфигурации отливок, в частности, отливают картеры и блоки поршневых двигателей внутреннего сгорания.

1. Ознакомиться с классификацией, составом, с принципом маркировки и областью применения медных и алюминиевых сплавов.
2. Исследовать с помощью металлографического микроскопа МИМ-8 микроструктуру латуней, бронз, а так же литейных и деформируемых сплавов на основе алюминия.
3. Зарисовать микроструктуры исследуемых медных и алюминиевых сплавов с обозначением структурных составляющих, сравнивая наблюдаемую с помощью микроскопа картину с соответствующей фотографией в альбоме микроструктур сплавов цветных металлов.

Содержание письменного отчета

1. Цель работы.
2. Тип и марки исследуемых сплавов.
3. Химический состав, свойства и область применения исследуемых сплавов.
4. Рисунки микроструктур латуни, бронзы, литейного и деформируемого алюминиевого сплава с обозначением структурных составляющих (твердого раствора, химического соединения, эвтектики).

Контрольные вопросы

1. Структура, механические свойства, маркировка и область применения простых, однофазных и двухфазных латуней.
2. Структура, состав и область применения специальной (сложной) латуни ЛС59-1.
3. Особенности структуры, свойства, маркировка и область применения оловянных бронз.
4. Структура, свойства, маркировка и область применения свинцовых бронз.
5. Классификация алюминиевых сплавов и принцип маркировки.
6. Приведите пример алюминиевого деформируемого сплава. Состав сплава, особенности структуры, свойства, области применения.
7. Приведите пример алюминиевого литейного сплава. Состав сплава, особенности структуры, свойства. Области применения.
8. С какой целью выполняется модифицирование алюминиевых литейных сплавов?

Составитель: Юрий Васильевич Сапрыкин к.т.н. профессор.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторным работам по материаловедению.
Раздел «Металлографический анализ» для студентов специальностей 29.01,
29.03.