

Министерство образования и науки РФ
Филиал ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологической
университет» в пос. Яблоновском
(филиал «МГТУ» в пос. Яблоновском)
Кафедра инженерных дисциплин и таможенного дела

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Методические указания по выполнению лабораторных работ
для студентов всех форм обучения направлений подготовки
21.03.01 – Нефтегазовое дело, 23.03.01 – Технология транспортных
процессов и специальности 20.05.01 – Пожарная безопасность

пос. Яблоновский
2016

Составитель: старший преподаватель Хрисониди В.А.

УДК [620.22 + 621.7](07)

ББК 30.3

М 34

Материаловедение и технология конструкционных материалов.

Методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов всех форм обучения направлений подготовки 21.03.01 – Нефтегазовое дело, 23.03.01 – Технология транспортных процессов и специальности 20.05.01 – Пожарная безопасность: Сост. ст. препод. Хрисониди В.А. Майк. Гос. Техн. Ун-т. – пос. Яблоновский; Издательство филиал МГТУ в пос. Яблоновском, кафедра ИДиТД, 2016.- 64 с.

В предложенном пособии приведены методические указания по лабораторным работ по дисциплине для студентов всех форм обучения, а также рекомендуемая литература для подготовки к защите отчетов по лабораторным занятиям.

Рецензенты: проф. кафедры инженерных дисциплин и таможенного дела, филиала ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет» в пос. Яблоновском, д-р техн. наук, старший научный сотрудник А.Е. Нижник, зав. кафедрой общей, неорганической химии и информационно-вычислительных технологий в химии ФГБОУ ВО «Кубанского государственного университета», д-р хим. наук, проф. Н.Н. Буков

Печатается по решению научно-методических советов направлений подготовки 21.03.01 – Нефтегазовое дело, 23.03.01 – Технология транспортных процессов и специальности 20.05.01 - Пожарная безопасность протоколы от 26.08.2016 г. №1

© филиал ФГБОУ ВО «МГТУ» в пос. Яблоновском, 2016

Содержание

Введение.....	4
Лабораторная работа №1 «Исследование процесса кристаллизации».....	6
Лабораторная работа №2 «Микроструктурный анализ металлов и сплавов»	16
Лабораторная работа №3 «Измерение твердости металлов и сплавов»	22
Лабораторная работа №4 «Изучение микроструктур углеродистых и легированных сталей в равновесном состоянии».....	28
Лабораторная работа №5 «Изучение микроструктур чугунов».....	35
Лабораторная работа №6 «Изучение микроструктуры цветных металлов и сплавов».....	42
Лабораторная работа №7 «Исследование влияния скорости охлаждения на свойства сталей».....	53
Лабораторная работа №8 «Изучение микроструктуры цементованной стали».....	59
Список использованной литературы.....	63

Введение

Целью изучения дисциплины: дать знания о строении, физических, механических и технологических свойствах металлов и неметаллических конструкционных материалов, закономерностях их изменения под воздействием различных внешних факторов, основы производства материалов и методы получения твердых тел, основные способы формообразования изделий; показать значение дисциплины в технологической подготовке бакалавров, что позволит сформировать и развить ряд профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС ВО.

Задачи преподавания дисциплины:

- дать теоретические основы производства черных и цветных металлов на основе строения и их механических свойств;
- ознакомить с современным способами получения материалов и изделий из них с заданным уровнем эксплуатационных свойств.
- ознакомить с методами формообразования и обработки заготовок для изготовления деталей заданной формы и качества, их технологические особенности.
- ознакомить с влиянием условий технологической обработки и эксплуатации на структуру и свойства современных металлических и неметаллических материалов.
- сформировать навыки научно-технического мышления и творческого применения полученных знаний в инженерной деятельности.

Дисциплина входит в перечень курсов дисциплин базовой части ОП.

Для изучения дисциплины студент должен обладать знаниями, полученными при изучении дисциплин «Химия», «Физика», «Экология», «Математика».

Теоретические и практические знания, получаемые при изучении данного курса, могут быть использованы в дальнейшем освоении специальных дисциплин, при прохождении преддипломной практики и выполнении выпускной квалификационной работы.

Курс направлен на формирование основных знаний в области перспектив развития материалов и их применения в технике.

В результате освоения дисциплины студент должен:

знать:

- материалы и технологии, применяемые для изготовления, эксплуатации и обслуживания объектов транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки от коррозионного разрушения;
- особенности строения технических материалов, зависимость их свойств от состава и строения;
- способы упрочнения и разупрочнения материалов;
- физическую сущность явлений, происходящих в материалах;
- основные способы сварки, используемые в эксплуатации объектов

транспорта и хранения нефти, газа и продуктов переработки, физическую сущность этих процессов;

- параметры режима, оборудование, методы контроля качества сварных соединений;

- основные принципы проектирования технологии сборки и сварки сварных конструкций при их изготовлении и монтаже.

уметь:

- применять полученные знания для выбора материала и технологии обработки;

- идентифицировать на основании маркировки конструкционные материалы и определять возможные области их применения;

- определять механические свойства материалов при различных температурных условиях и условиях нагружения;

- использовать общие принципы рационального выбора материала детали и способа ее изготовления и повышения эксплуатационных свойств, исходя из заданных требований к изделию.

- выбрать метод производства конструкционных материалов;

- выбрать способ и составить технологический процесс сварки;

- выбрать способ и оптимальные режимы термической обработки металла;

- осуществлять оперативный контроль за техническим состоянием технологического оборудования, используемого при строительстве, ремонте, реконструкции и восстановлении нефтяных и газовых скважин, добыче нефти и газа, сборе и подготовке скважинной продукции, транспорте и хранении углеводородного сырья.

владеть:

- особенностями производства, методами и способами формирования различных поверхностей деталей для технологичной конструкции, обеспечивающей требуемые технические параметры;

- основными методами определения механических, эксплуатационных и технологических свойств материалов;

- навыками подбора различных материалов, исходя из заданных условий их эксплуатации;

- методикой проведения металлографических исследований макро- и микроструктуры металлов и сплавов;

- методикой выполнения термической обработки металлов и сплавов;

- навыками выполнения сварочных работ с применением ручной электродуговой сварки покрытыми электродами.

Лабораторная работа №1 «Изучение процесса кристаллизации»

Цель работы: изучить процесс кристаллизации капель раствора четырёх солей. Сравнить строение закристаллизовавшейся капли раствора нитрата свинца со строением слитка спокойной стали

Приборы и оборудование: микроскоп типа Альтами МЕТ 4; нитрат свинца $Pb(NO_3)_2$, хлорид аммония NH_4Cl , дихромат калия $K_2Cr_2O_7$, хлорид натрия $NaCl$.

Теоретическая часть

Процесс образования кристаллов называется *кристаллизацией*. Визуальное изучение кристаллизации металлов сопряжено с техническими трудностями. Поскольку законы кристаллизации растворов солей и расплавленных металлов сходны, изучение процесса кристаллизации можно проводить на растворах солей.

Согласно законам термодинамики, устойчивым состоянием при определённых внешних условиях будет то состояние, которое обладает меньшим уровнем свободной энергии. Под *свободной энергией* понимают часть внутренней энергии, которая может быть превращена в работу. При изменении внешних условий (например, при понижении температуры) любая система самопроизвольно стремится к состоянию с наименьшим уровнем свободной энергии.

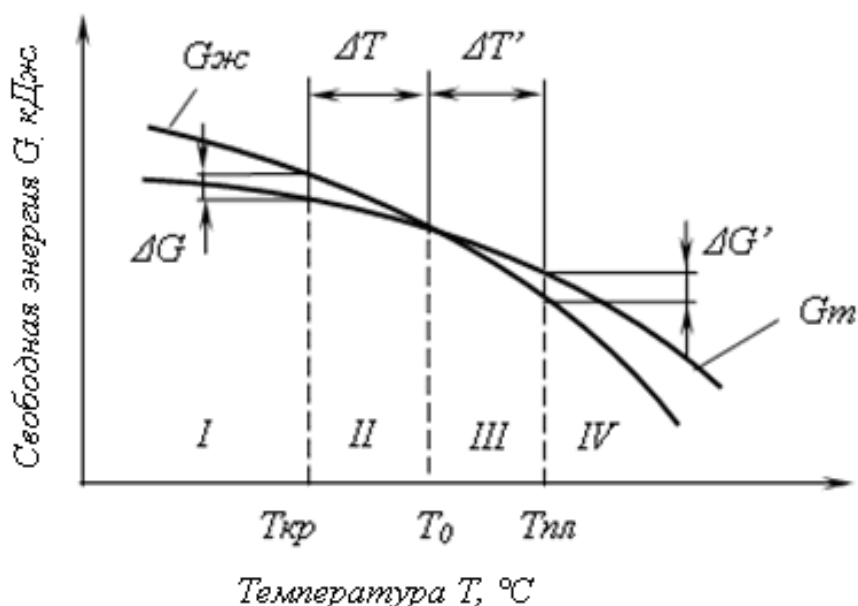


Рисунок 1 – Изменение свободной энергии жидкого $G_{ж}$ и твёрдого $G_{т}$ состояния в зависимости от температуры: $T_{кр}$ – фактическая температура кристаллизации, T_0 – теоретическая (равновесная) температура кристаллизации и плавления, ΔT – степень

переохлаждения,

$T_{пл}$ – фактическая температура плавления, $\Delta T'$ – степень перегрева

С изменением температуры свободная энергия жидкого $G_{ж}$ и твёрдого G_m состояния изменяется по разным законам (рисунок 1). При высоких температурах жидкое состояние обладает меньшей свободной энергией, поэтому металл при этих температурах находится в жидком состоянии (области III, IV). При охлаждении металл достигнет температуры T_0 , при которой свободные энергии жидкого и твёрдого состояния равны. Эта температура носит название *теоретической (равновесной) температуры кристаллизации* при охлаждении и температуры плавления при нагреве.

При T_0 процесс кристаллизации протекать не может. Для развития процесса кристаллизации надо создать условия, при которых свободная энергия твёрдого состояния будет меньше, чем свободная энергия жидкого состояния. Это возможно лишь при охлаждении ниже $T_{кр}$, т. е. ниже теоретической температуры кристаллизации на некоторую величину ΔT . В области II металл при охлаждении продолжает оставаться в жидком состоянии, поскольку разность $(G_{ж} - G_m)$ невелика и температура не достигла критического значения $T_{кр}$, при котором твёрдое состояние обладает меньшей свободной энергией. При достижении $T_{кр}$ разность $(G_{ж} - G_m)$ увеличивается, поэтому оставаться дальше в жидком состоянии металл не может, и при этой температуре в металле самопроизвольно начинается процесс кристаллизации.

В области I (рисунок 1) металл будет находиться в твердом состоянии. Температура $T_{кр}$ носит название *фактической температуры кристаллизации*, а разность между теоретической и фактической температурами $\Delta T = T_0 - T_{кр}$ называется *степенью переохлаждения*. Таким образом, кристаллизация может протекать лишь в условиях переохлаждения ниже теоретической температуры кристаллизации.

Для развития процесса плавления необходима некоторая степень перегрева $\Delta T' = T_{пл} - T_0$, где $T_{пл}$ – фактическая температура плавления.

Д. К. Чернов ещё в 1878 году показал, что кристаллизация складывается из двух элементарных процессов (рисунок 2). Первый процесс заключается в образовании из жидкого раствора мельчайших кристаллических частиц-зародышей (*центров кристаллизации*). Интенсивность этого процесса определяется числом зародышей $ЧЗ$, возникающих в единице объёма (1 мм^3) за единицу времени (1 с). Вторым процессом состоит в росте кристаллов из зародышей. Интенсивность этого процесса определяется скоростью кристаллизации ($СК$) – линейным перемещением грани кристалла (в миллиметрах) в единицу времени (1 с).

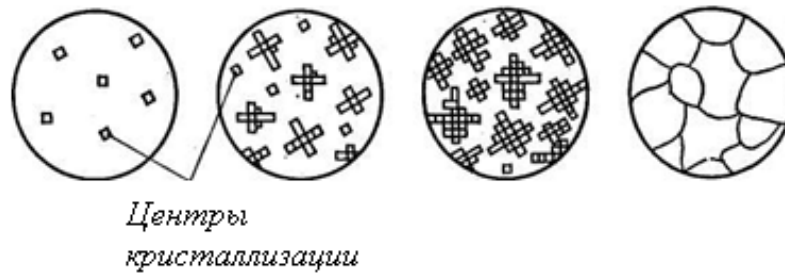


Рисунок 2 – Последовательные этапы процесса кристаллизации

Рост кристаллов заключается в том, что к их зародышам присоединяются все новые атомы жидкого металла. Сначала кристаллы растут свободно, сохраняя правильную геометрическую форму, но это происходит только до момента встречи растущих кристаллов. В месте соприкосновения кристаллов рост отдельных их граней прекращается и развиваются не все, а только некоторые грани кристаллов. В результате кристаллы не имеют правильной геометрической формы и называются *кристаллитами* или *зернами*.

Процессы образования зародышей и роста кристаллов протекают одновременно, причём интенсивность их зависит от степени переохлаждения. При данной степени переохлаждения величины $ЧЗ$ и $СК$ – постоянные в течение всего времени процесса кристаллизации.

Размер полученных кристаллов N зависит от соотношения $ЧЗ$ и $СК$ при данной степени переохлаждения и выражается формулой

$$N = \alpha \cdot \sqrt{\frac{СК}{ЧЗ}}$$

где α – коэффициент пропорциональности.

При малой степени переохлаждения ΔT_1 (рисунок 3) кристаллы после затвердевания будут крупными, так как $ЧЗ$ мало, а $СК$ велика. При большой степени переохлаждения ΔT_2 кристаллы будут мелкими, так как кристаллизация в этом случае идёт при почти той же $СК$, что и в первом случае, но при значительно большем $ЧЗ$.

Таким образом, изменяя степень переохлаждения, можно получить кристаллы разной величины.

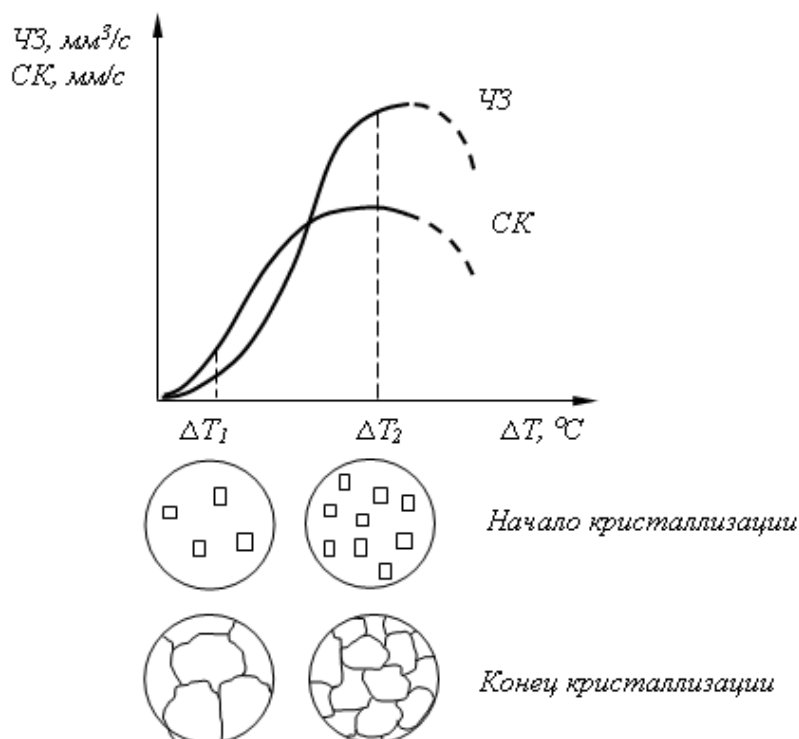


Рисунок 3 – Зависимость ЧЗ и СК от степени переохлаждения при кристаллизации металлов

Степень переохлаждения зависит от скорости охлаждения. Чем больше скорость охлаждения, тем больше степень переохлаждения и мельче кристаллы. В реальных условиях затвердевания больших масс металла на процесс кристаллизации, размер и форму кристаллов оказывают влияние и другие факторы: твёрдые взвешенные тугоплавкие частицы примесей, инородные тела, газовые включения, теплоёмкость самого металла, направление отвода тепла, конвекционные потоки в жидком металле, температура заливаемого металла и формы, способы заливки, состояние поверхности изложницы (формы) и другие.

Форма растущих кристаллов определяется не только условиями их столкновений между собой, но и составом сплава, наличием примесей и условиями охлаждения. В большинстве случаев при кристаллизации металлов механизм образования кристаллов носит так называемый дендритный характер.

Дендритная кристаллизация характеризуется тем, что рост зародышей происходит с неравномерной скоростью. После образования зародышей их развитие идет главным образом в тех направлениях решетки, которые имеют наибольшую плотность упаковки атомов (минимальное межатомное расстояние). В этих направлениях образуются длинные ветви будущего кристалла – так называемые оси первого порядка (*I* на рисунок 4).

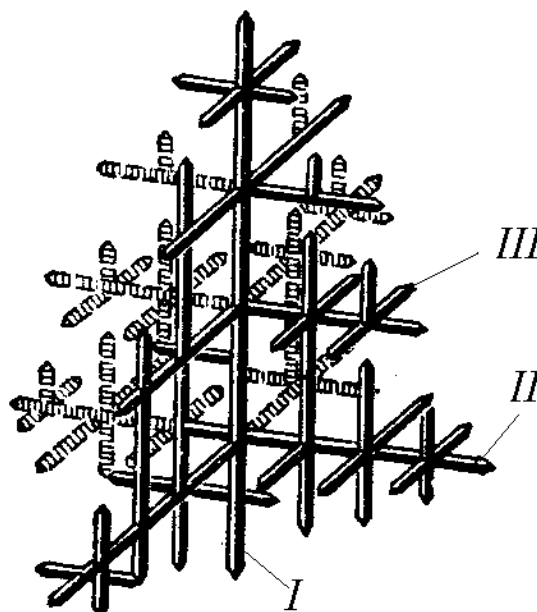


Рисунок 4 – Схема дендритного роста кристалла

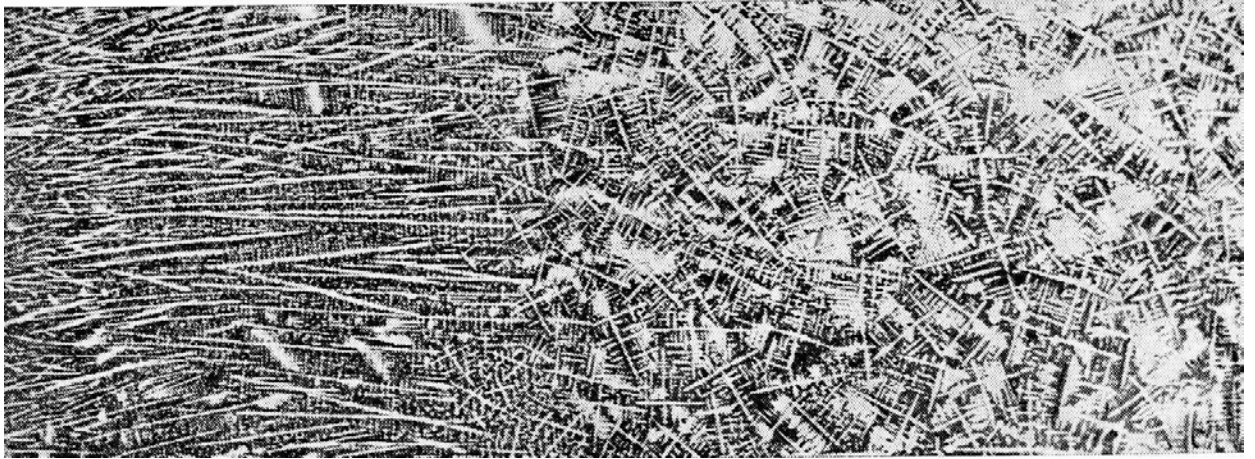
В дальнейшем от осей первого порядка под определенными углами начинают расти новые оси, которые называют осями второго порядка (II), от осей второго порядка растут оси третьего порядка (III) и т. д.

По мере кристаллизации образуются оси более высокого порядка (четвертого, пятого, шестого и т. д.), которые постепенно заполняют все промежутки, ранее занятые жидким металлом.

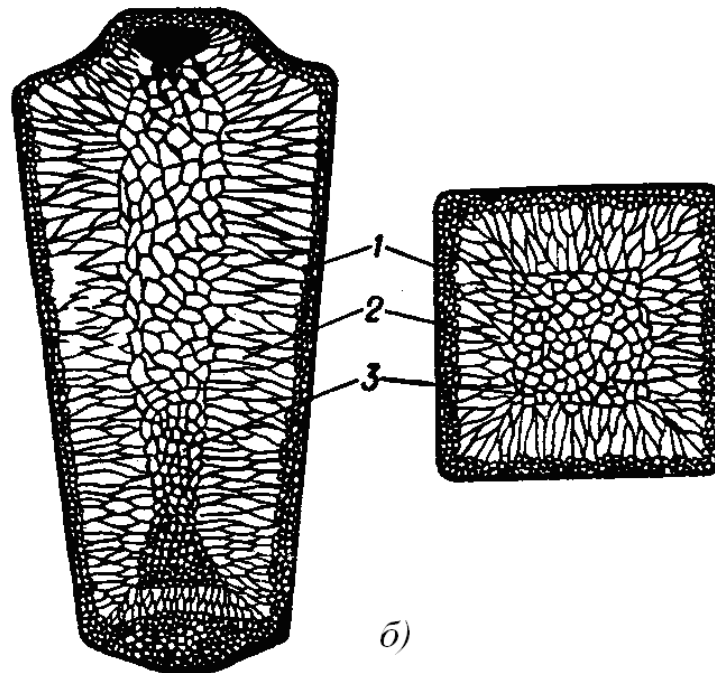
Если жидкого металла не хватает для заполнения межосных пустот, то древовидная форма кристаллов сохраняется. Такие дендриты можно обнаружить в усадочных раковинах и на свободной поверхности слитков. Если жидкого металла достаточно для заполнения межосного пространства, то образуются крупные кристаллы, вытянутые в направлении главного теплоотвода. Такие кристаллы называются *столбчатыми*.

При равномерном теплоотводе, а также при большом числе зародышей, кристаллы растут с одинаковой скоростью по всем направлениям и вырастают *равноосными*.

Процесс кристаллизации слитка спокойной стали (рисунок 5а) начинается у стенок изложницы и последовательно продвигается к центру слитка.



a)



б)

Рисунок 5 – Строение стального слитка: а) реальный слиток стали; б) схема строения слитка: 1 – мелкие равноосные кристаллы; 2 – столбчатые кристаллы;

3 – крупные равноосные кристаллы

У стенок изложницы (рисунок 5б) образуется зона 1 – зона мелких равноосных, беспорядочно направленных кристаллов. Мелкие кристаллы получаются, благодаря быстрому охлаждению ещё холодной стенкой прилегающих слоев жидкой стали.

Поэтому кристаллизация здесь идёт при большой степени переохлаждения, при большом числе зародышей. Кристаллы получаются равноосными, беспорядочно направленными, потому что оси первого порядка растут перпендикулярно неровностям внутренней поверхности изложницы. Растущие кристаллы сталкиваются между собой и образуют зону мелких дезориентированных кристаллов.

Следующая зона 2 – зона столбчатых кристаллов – крупных кристаллов, главная ось которых перпендикулярна стенке изложницы. Кристаллы получаются крупными, так как в этой зоне скорость охлаждения меньше, чем в зоне 1, т. к. тепло отводится не холодной стенкой, а через зону 1 и уже нагревшуюся стенку изложницы. Поэтому кристаллизация здесь идёт с меньшей степенью переохлаждения, с меньшим числом зародышей. Кристаллы вытянуты главной осью перпендикулярно стенке изложницы, так как в этом направлении идет главный теплоотвод. В центре слитка образуется зона 3 – зона крупных равноосных кристаллов. В этой части слитка скорость охлаждения меньше, чем в зоне 1 и 2, поэтому кристаллизация идет при малой степени переохлаждения, при малом числе зародышей. Кристаллы этой зоны получаются равноосными, произвольно ориентированными, так как отвод тепла идет во всех направлениях с одинаковой скоростью. Скелетом этих крупных кристаллов являются дендриты (рисунок 5а).

В данной работе студенты изучают процесс кристаллизации четырёх солей: нитрата свинца $Pb(NO_3)_2$, хлорида аммония NH_4Cl , дихромата калия $K_2Cr_2O_7$ (хромпик), хлорида натрия $NaCl$ (поваренная соль), вызванный испарением растворителя.

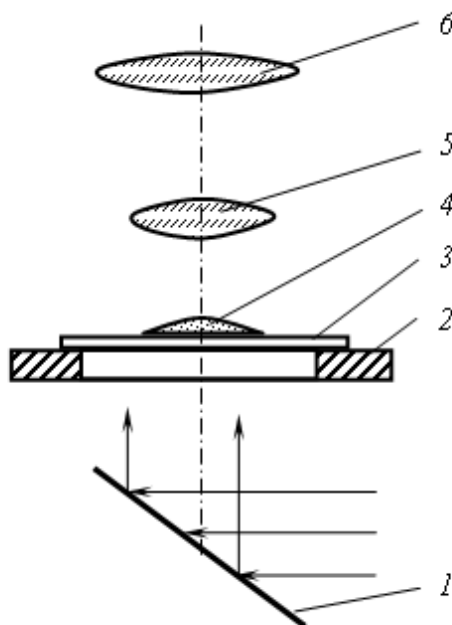


Рисунок 6 – Схема хода лучей в микроскопе:

I – зеркало; 2 – предметный столик; 3 – предметное стекло; 4 – капля соли;
5 – объектив; 6 – окуляр

Водные растворы этих солей приготавливаются почти насыщенными с тем, чтобы незначительное испарение воды привело их к состоянию перенасыщения и выделению кристаллов.

Наблюдение за процессом кристаллизации солей производится с помощью биологического микроскопа, работающего по принципу проходящего света (рисунок 6). Лучи от естественного источника света, отразившись от зеркала микроскопа, проходят через отверстие предметного столика, предметное стекло, каплю соли и попадают в объектив. Полученное в объективе изображение капли увеличивается им и окуляром. Пройдя через окуляр, лучи попадают в глаз наблюдателя. Наблюдение за кристаллизацией капель в этой работе проводится при увеличении, но более чем в 100 раз.

Устройство и принцип работы микроскопа «Альтами МЕТ 4»

Микроскоп «Альтами МЕТ 4» относится к серии металлографических микроскопов от компании «Альтами». Микроскоп «Альтами МЕТ4» может с успехом использоваться на металлургических предприятиях, при изучении горных пород, в коммерческих и государственных лабораториях, для изучения электронных компонентов и т.д. Помимо всего прочего, целесообразно его использование при обучении студентов профильных вузов.

Работает микроскоп «Альтами МЕТ4» в отражённом свете при прямом освещении по методу светлого поля.

2 Порядок выполнения работы

1. Глядя в окуляр, вращать зеркало микроскопа, добиваясь яркого освещения (получить светлое поле).

2. Предметное стекло с нанесенной на него каплей соли установить на предметный столик так, чтобы капля была в центре отверстия предметного столика.

3. Произвести грубую настройку на фокус, для чего смотреть одним глазом в окуляр и, держа второй глаз открытым, вращать винт грубой подачи, поднимая тубус до тех пор, пока не появится изображение капли.

4. Вращением микрометрического винта произвести тонкую настройку на фокус.

5. Перемещать предметное стекло по предметному столику, наблюдая за кристаллизацией сначала у краёв капли, а затем в центре капли.

6. По мере появления кристаллов производить зарисовку в отчете, передавая при этом особенности их строения.

7. Исследование начинать с капли нитрата свинца, так как его кристаллизация идёт аналогично кристаллизации слитка спокойной стали. Наибольшее испарение возникает у краёв капли, так как тут уровень жидкости наименьший, а концентрация соли раньше, чем в других местах, достигает предела насыщения. Здесь образуются мелкие равноосные кристаллы. Они настолько мелкие, что при используемом в данной работе увеличении каждый кристалл невиден, и эта зона чаще всего просматривается в виде тонкой тёмной линии (рисунок 7).

Затем начинают образовываться крупные, вытянутые нормально к краям капли столбчатые кристаллы. Здесь кристаллизация идёт при большой скорости и ограниченном числе зародышей.

В последнюю очередь кристаллизация идёт в центре капли, где образуются крупные кристаллы, имеющие форму дендритов.

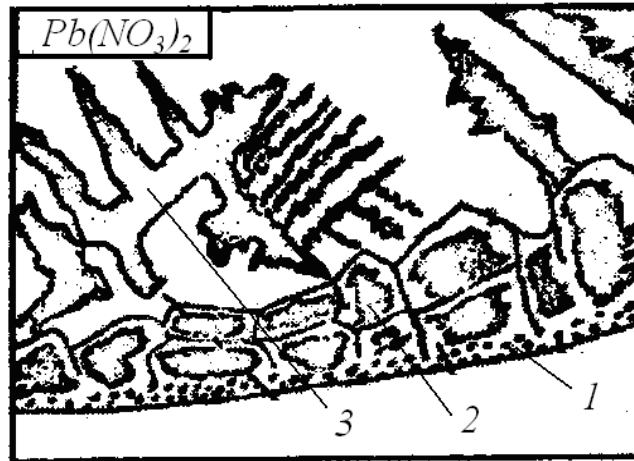
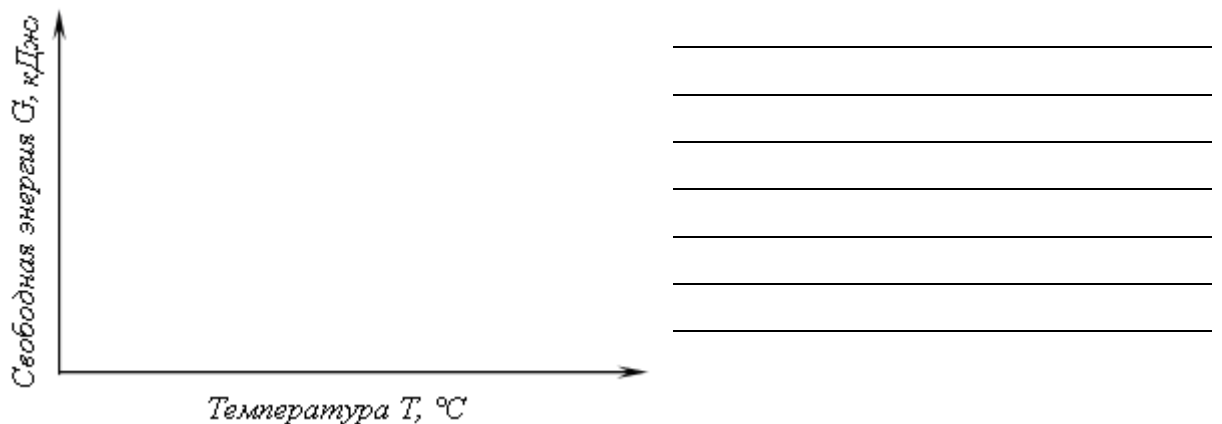


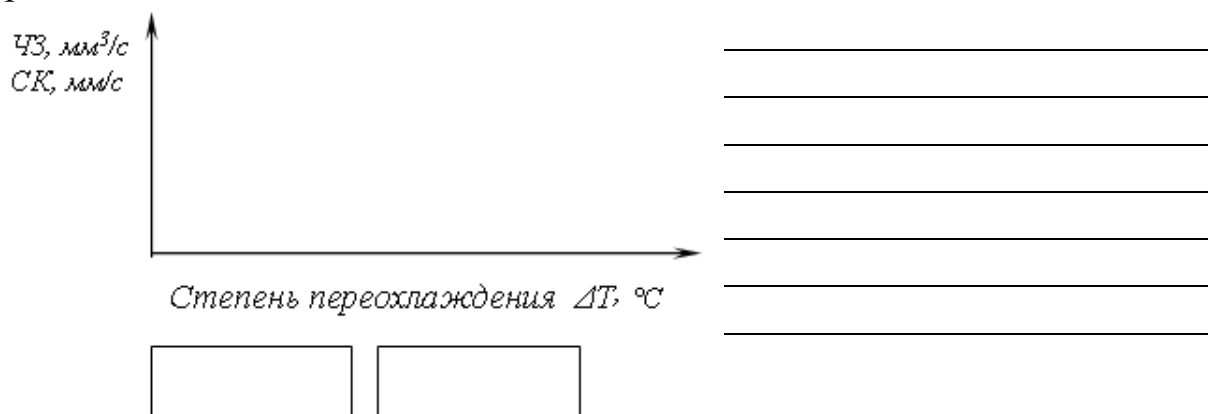
Рисунок 7 – Строение затвердевшей капли раствора нитрата свинца:
1 – мелкие равноосные кристаллы, 2 – крупные вытянутые кристаллы, 3 – дендриты

Отчет по лабораторной работе Изучение процесса кристаллизации

1. Цель работы.
2. Изменение свободной энергии жидкости и твердого тела в зависимости от температуры.



3. Принципиальная схема зависимости *ЧЗ* и *СК* от степени переохлаждения.



4. Схема хода лучей в микроскопе

Принцип работы микроскопа:

Обозначения:

5. Строение затвердевших капель:

1. $Pb(NO_3)_2$	2. NH_4Cl
3. $K_2Cr_2O_7$	4. $NaCl$

6. Особенности строения затвердевших капель:

- 1 _____
- 2 _____
- 3 _____
- 4 _____

Вывод по работе: _____

Контрольные вопросы:

1. Краткая характеристика металлов и сплавов.
2. Кристаллическое строение металлов.
3. Дефекты строения кристаллических тел.
4. Термодинамика и механизм процесса кристаллизации металлов.
5. Строение слитка спокойной стали.
6. Дендритная и зональная ликвация.

Лабораторная работа №2 «Микроструктурный анализ металлов и сплавов»

Цель работы: ознакомиться с микроструктурным методом анализа металлов и сплавов и изучить взаимосвязь между структурой и механическими свойствами металлов и сплавов.

Задания

1. Используя литературу, ознакомиться с влиянием микроструктуры на механические свойства металлов и сплавов.
2. Освоить методику приготовления микрошлифов.
3. Ознакомиться с устройством микроскопа МИМ-7, принципом его работы, зарисовать схему хода лучей.
4. Изучить под микроскопом и зарисовать поверхности образцов после различных обработок. Определить увеличение микроскопа.
5. Измерить микроскопический объект при помощи окулярных и объективных микрометров.
6. Ответить на контрольные вопросы.
7. Составить отчет.

Общие положения

Под микроскопическим анализом (микроанализом) понимают изучение строения металлов и сплавов с помощью металлографического микроскопа при увеличении в 50-2000 раз.

Задачи микроанализа:

- 1) Оценка формы и размеров кристаллических зерен металлов и сплавов;
- 2) определение формы и размеров неметаллических включений – сульфидов, оксидов и др.;

- 3) определение микропороков – микротрещин, раковин, пор и др.;
- 4) анализ изменения микроструктуры сплавов после термической, химико-термической обработки и обработки металлов давлением;
- 5) определение химического состава некоторых структурных составляющих по их характерной форме и окраске после применения избирательных травителей.

Для микроанализа из испытуемого материала вырезают образец и путем ряда операций (шлифования, полирования, травления) доводят до такого состояния, когда при рассмотрении его в металлографический микроскоп выявляют неметаллические включения, мелкие поры, графит в чугуне (после шлифования и полирования) или микроструктуры (после шлифования, полирования и травления).

Шлифование проводят вручную или механическим способом на вращающемся шлифовальном круге, применяют шлифовальную бумагу. После шлифования шлифовальной бумагой с большим размером зерна на поверхности наблюдается сильная шероховатость. При смене шлифовальной бумаги меняют направление шлифования на перпендикулярное, что уменьшает шероховатость поверхности шлифа. После шлифования на поверхности шлифа видны риски.

Полирование проводят суспензиями или пастами. Суспензия представляет собой взвесь твердых нерастворимых частиц в водном или масляном диспергаторе. Паста - это концентрированная суспензия. В качестве твердой фазы применяют порошки Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Cr_2O_3 с размером частиц 1 - 5 мкм. Полирование обычно проводят механическим способом: на вращающийся круг, покрытый фетром или сукном, наносят суспензию и полируют шлиф до «зеркального» блеска. На полированном микрошлифе наблюдают неметаллические включения, определяют их форму и размеры.

Травление осуществляется химическими травителями. При травлении между различными частями (фазами) микрошлифа возникает электрохимический потенциал и идет коррозия микрошлифа. Наиболее сильно растравливаются дефектные части микрошлифа: границы зерен, в меньшей степени само зерно. Наиболее растравленные части микрошлифа сильно рассеивают падающий свет и кажутся в микроскопе более темными, чем само зерно.

Микроструктуру металлов и сплавов наблюдают в оптическом микроскопе МИМ-7, МИМ-8 и др. Практически увеличение микроскопа определяется произведением увеличения окуляра на увеличение объектива.

Металлографический микроскоп позволяет рассматривать при увеличении непрозрачные тела в отраженном свете. Оптическая схема и работа металлографического микроскопа МИМ-7 представлена на рисунке 8.

В качестве источника света используют низковольтные электрические лампы накаливания и реже лампы напряжения 110-120 В переменного и постоянного тока. Для уменьшения рассеивания световых лучей и

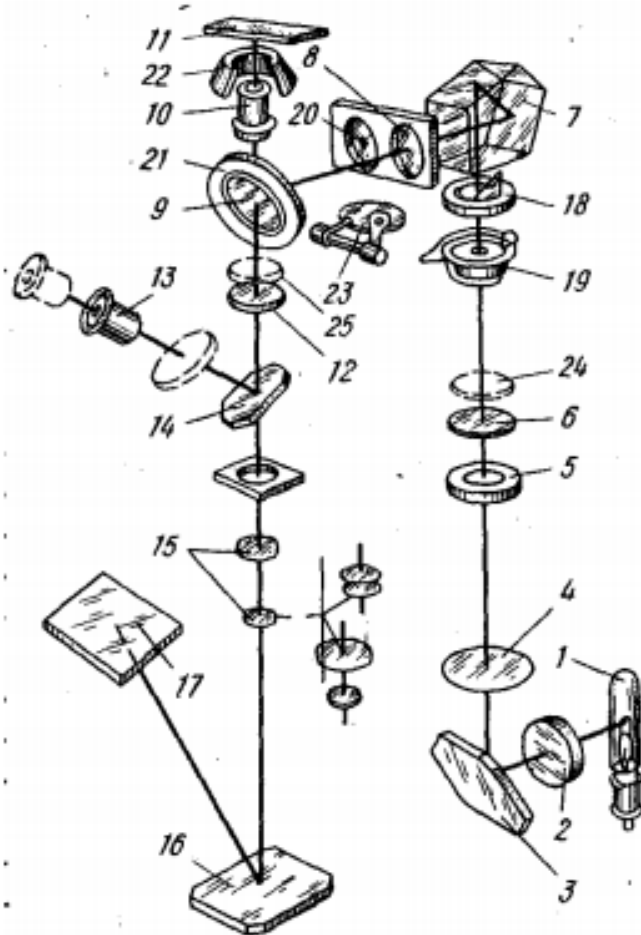


Рисунок 8 – Оптическая схема и работа металлографического микроскопа МММ-7:

1 – осветитель (лампа); 2 – коллектор; 3 – зеркало; 4 – светофильтр; 5 – апертурная диафрагма; 6 – линза; 7 – призма; 8 – линза для работы в светлом поле; 9 – отражательная пластинка; 10 – объектив; 11 - объект; 12 – ахроматическая линза; 13 – окуляр; 14 – зеркало; 15 – фотоокуляр; 16 – зеркало; 17 – фотопластинка; 18 – полевая диафрагма; 19 – затвор; 20 – линза для работы в темном поле; 21 - кольцевое зеркало; 22 – параболическое зеркало; 23 – заслонка (включается при работе в темном поле); 24 – поляризатор; 25 - анализатор

повышения четкости изображения в осветительную систему введен коллектор 2. Светофильтры 4 (цветные, матовые или дымчатые стеклянные пластинки) отбирают лучи требуемой длины волны, т.е. определенного цвета, и позволяют установить нужную интенсивность освещения с тем, чтобы избежать излишнего утомления глаз наблюдателя.

Человеческий глаз обладает неодинаковой чувствительностью к разным цветам спектра; наибольшей чувствительностью он обладает к желто-зеленым цветам. Поэтому применение желто-зеленого светофильтра, отфильтровывающего другие составляющие белого цвета, позволяет более четко наблюдать особенности структуры. Апертурная диафрагма 5 необходима для ограничения светового пучка и получения большей четкости

изображения, полевая диафрагма 18 – для ограничения освещенного поля рассматриваемого участка на микрошлифе.

Структуры исследуются в темном и светлом поле. При микроанализе для большинства металлов и других непрозрачных материалов и сплавов применяют наблюдение в светлом поле, т.е. при вертикальном освещении.

Световые лучи, преломляясь пентапризмой 7, проходят через линзу светлого поля, попадают на отражающую пластинку 9 и направляются через объектив 10 на микрошлиф, установленный на предметном столике. Отразившись от микрошлифа, лучи вновь проходят через объектив и, выходя через него параллельным пучком, попадают на отражательную пластинку и ахроматическую линзу 12. Зеркало 14 отклоняет лучи в сторону окуляра 13.

Окуляры не только дают мнимое увеличение (т.е. увеличение промежуточного изображения), но и исправляют оптические дефекты, которые полностью не устраняются даже в объективах сложной конфигурации.

Практически увеличение микроскопа определяется произведением увеличения окуляра на увеличение объектива, при использовании следующих характеристик: фокусного расстояния, числовой апертуры объектива и увеличения окуляра.

Для выявления отдельных мелких рельефных частиц на гладком поле, например, при исследовании неметаллических включений, целесообразно применять темнопольное освещение. Работа микроскопа для исследования в темном поле будет отличаться от описанной схемы исследования в светлом поле тем, что вместо линзы 8 устанавливается линза 20. Центральная часть одной из поверхностей линзы 20 покрыта черным непрозрачным лаком в виде диска, задерживающего центральную часть светового пучка и пропускающего краевые лучи, проходящие через прозрачную часть линзы 20 и попадающие на кольцевое зеркало 21. Для того чтобы световые лучи не попадали на отражающую пластинку, используется заслонка 23. При исследовании в темном поле применяют эпиобъективы, имеющие вокруг оправы с объективными линзами параболическое зеркало 22. Отразившись от кольцевого зеркала, световые лучи падают на внутреннюю зеркальную поверхность параболического зеркала и, отразившись от него, концентрируются на микрошлифе. От поверхности шлифа в объектив отразится только часть лучей, имеющих диффузный характер. Эти лучи обычно отражаются от выступающих над остальной поверхностью объекта фаз.

То есть исследование в темном поле не дает полной характеристики структуры и его следует рассматривать как дополняющее основное исследование в светлом поле.

При фотографировании зеркало 14 выключается выдвижением тубуса вместе с окуляром и зеркалом, и лучи направляются непосредственно к фотоокуляру 15, проходят через него на зеркало 16, от которого отражаются

и попадают на матовое стекло, где и дают изображение. Отраженные от микрошлифа световые лучи могут направляться на матовое стекло через проекционный окуляр. Для фиксирования микроструктуры матовое стекло заменяется кассетой с фотопластинкой 17.

После фотографирования применяют обычные в фотографии приемы: проявление, фиксирование, промывание негатива и печатание позитивного изображения на фотобумагу.

Порядок выполнения работы

Первое и второе задания студенты выполняют при подготовке к работе. Обратит внимание, что существенное влияние на свойства металлов и сплавов оказывают форма и размер неметаллических включений, неоднородность структуры.

Третье задание выполняется под руководством преподавателя всей группой.

Четвертое задание выполняется бригадами по 2-3 человека на металлографическом микроскопе МИМ-7. Каждая бригада получает комплект из

4 образцов сталей и чугунов:

1 - после шлифовки (сталь); 2 - после полировки (сталь); 3 - после полировки (чугун); 4 - после полировки и травления (сталь).

Установить шлиф па предметный столик микроскопа, рассмотреть и зарисовать наблюдаемую поверхность после различных видов обработки (в квадрате 40x40 мм), указать наличие и отсутствие неметаллических включений и характер их распределения.

Определить увеличение микроскопа, используя характеристики: фокусное расстояние, числовая апертура объектива и увеличение окуляра.

При выполнении пятого задания необходимо сначала определить цену деления окуляр микрометра:

1. Вставить окуляр микрометр и объектив.
2. На подкладку предметного столика поместить объектив микрометр таким образом, чтобы шкала с делениями находилась над объективом.
3. Вращением макроscopicого и микроскопического винтов навести на фокус шкалу объектив микрометра.
4. Вращением окуляра совместить шкалу окуляр микрометра со шкалой объектив микрометра, установив параллельно штрихи обеих шкал.
5. Определить, в какое число делений окуляр микрометра укладывается шкала объектив микрометра (если она полностью укладывается в поле зрения микроскопа) или в какое число делений окуляр микрометра укладывается определенное количество делений шкалы объектив микрометра (если она полностью не уменьшается в поле зрения микроскопа).
6. Определить цену деления шкалы окуляр микрометра Цок по формуле:

$$C_{OK} = \frac{C_{OB} \cdot A_{OB}}{A_{OK}} \text{ мм},$$

где $C_{OB} = 0,01$ мм – цена деления шкалы объектив микрометра;

A_{OB} - число совмещенных делений объектив микрометра;

A_{OK} - число совмещенных делений окуляр микрометра.

Например, шкала объектив микрометра укладывается на 25 делениях шкалы окуляр микрометра. Тогда

$$C_{OK} = \frac{0,01 \cdot 100}{25} = 0,04 \text{ мм}$$

Для измерения микроскопических объектов необходимо:

1. Настроить микроскоп на измеряемый объект.
2. Совместить данный объект со шкалой окуляр микрометра.
3. Измерить микроскопический объект, т.е. определить, сколько делений шкалы окуляр микрометра занимает объект.
4. Определить величину измеряемого объекта, для чего полученное число делений шкалы окуляр микрометра, которое занимает объект, умножить на цену деления окуляр микрометра.

Например, объект занимает 6 делений шкалы окуляр микрометра.

Цена деления окуляр микрометра 0,04 мм.

Величина измеряемого объекта $6 \cdot 0,04 = 0,24$ мм.

Содержание отчета

1. Название, цель работы, задание.
2. Оптическая схема микроскопа МИМ-7 со спецификацией основных элементов схемы.
3. Микроструктуры шлифованного, полированного и травленых микрошлифов стали и чугуна с необходимыми объяснениями, увеличение микроскопа.
4. Результаты измерения микроскопических объектов.
5. Список используемой литературы.

Контрольные вопросы

1. Каковы задачи и область применения микроструктурного анализа?
2. Методика приготовления шлифов.
3. Принципиальная оптическая схема микроскопа МИМ-7.
4. Максимальное увеличение микроскопа. Разрешающая способность микроскопа.
5. Что собой представляют границы зерен?
6. Оценка зерна в металлах и сплавах с помощью окуляра и объектив микрометра.
7. Влияние размеров зерна на механические свойства металлов и сплавов.
8. Влияние разнородности на механические свойства металлов.

9. Влияние формы неметаллических включений и характера распределения на механические свойства.

Лабораторная работа №3 «Измерение твердости металлов и сплавов»

Цель работы: ознакомиться с приборами измерения твердости и методикой её определения на приборах Бринелля, Роквелла, Виккерса и ПМТ – 3. Приобрести навыки измерения твердости сплавов на указанных приборах.

Приборы и материалы: приборы Бринелля, Роквелла, Виккерса, ПМ – 3. Объект исследования: образцы сталей, чугунов, цветных металлов после разной термической обработки.

При проектировании и производстве машин, механизмов, инструментов те или иные детали должны обладать определенными механическими свойствами. Механические свойства металлов характеризуют сопротивление материала деформации и разрушению под действием внешних нагрузок. Практически все методы определения механических свойств являются разрушающими. Для проведения испытаний необходимы специальные машины, процессы испытания довольно длительны, особенно если учесть весьма продолжительный процесс изготовления специальных образцов.

Механические свойства и физические свойства зависят от многих факторов: от состава материала, вида обработки (пластической деформации, термической обработки). Поэтому в процессе изготовления тех или иных деталей необходимо контролировать свойства, особенно механические. Как отмечено ранее, обычные методы испытания механических свойств не могут быть использованы на промежуточных стадиях изготовления деталей вследствие длительности и дороговизны изготовления образцов, длительности самого процесса испытания. В этом случае пользуются методами определения твердости.

Твердость имеет большое практическое значение, так как она отражает многие рабочие свойства материала, например, сопротивляемость истиранию, режущие свойства, способность обрабатываться шлифованием или резанием, выдерживать местные давления и т. д. Кроме того, по твердости можно судить и о других механических свойствах (например, о прочности на разрыв). Следовательно, между твердостью и другими свойствами материалов существует определенная связь, подтверждаемая практикой.

Широкое распространение испытаний материалов на твердость объясняется тем, что при этом не требуется изготовления специальных образцов; методика испытаний весьма проста и может осуществляться непосредственно на готовой детали без разрушения.

Большинство методов определения твёрдости основано на принципе вдавливания в испытуемый материал твёрдых тел (закалённого стального шарика, алмазного конуса или алмазной пирамиды) и последующего измерения размеров отпечатков. Поэтому часто *твёрдость определяют, как способность материала сопротивляться внедрению в него другого тела*. Однако такое определение не является общим, так как существуют и другие методы определения твёрдости, основанные не на вдавливании, а на царапании, качании маятника, динамическом методе и других принципах.

Наиболее широко практикуются испытания твёрдости по Бринеллю, по Роквеллу, по Виккерсу и метод определения микротвёрдости. Во всех перечисленных методах при вдавливании индентора происходит пластическая деформация испытуемого материала под индентором. Чем больше сопротивление материала пластической деформации, тем на меньшую глубину проникает индентор и тем выше твёрдость.

По Бринеллю определяют твёрдость относительно мягких материалов: цветных металлов и их сплавов, отожжённых сталей и любых чугунов (кроме белого).

По Роквеллу чаще всего определяют твёрдость очень твёрдых материалов: закалённых сталей, твёрдых сплавов, керамики, твёрдых покрытий, в том числе наплавленных слоев достаточной глубины на сталях и чугунах. Но на приборе Роквелла можно определять твёрдость и сравнительно мягких материалов.

Метод Виккерса используется для испытания твёрдости деталей малой толщины или тонких поверхностных слоев, имеющих высокую твёрдость. Реже этот метод применяется для измерения твёрдости твёрдых и мягких материалов.

Методом микротвёрдости обычно измеряется твёрдость в пределах отдельных зёрен или очень тонких слоев. Два последних метода чаще всего используются в исследовательских работах.

Твёрдость по методу Бринелля. Определение твёрдости по Бринеллю основано на вдавливании в испытуемый материал стального шарика и последующего измерения диаметра отпечатка (рисунок 9).

Твёрдость по Бринеллю (*HB*) выражается отношением взятой нагрузки *P* к площади поверхности отпечатка *F*:

$$HB = \frac{P}{F} . (1)$$

Если вычислить поверхность отпечатка, имеющего форму шарового сегмента, то *HB* определится формулой

$$HB = \frac{2P}{\pi D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})} , (2)$$

где *P* – приложенная нагрузка, кгс; *D* – диаметр шарика, мм; *d* – диаметр отпечатка, мм.

Размер шарика выбирается в зависимости от толщины испытуемого образца: шарики стандартных размеров имеют диаметры 10 мм, 5 мм или 2,5 мм.

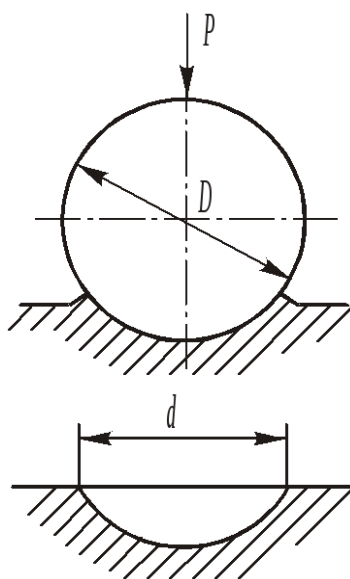


Рисунок 9 – Схема определения твердости по методу Бринелля

Нагрузка на шарик выбирается в зависимости от рода материала и должна быть пропорциональна квадрату диаметра шарика. Условные стандартные нормы, принятые для различных материалов:

для стали и чугуна $P = 30D^2$,

для меди и медных сплавов $P = 10D^2$,

для баббитов и свинцовистых бронз $P = 2,5D^2$.

Более подробные сведения по выбору нагрузки и времени ее приложения для различных материалов приводятся в соответствующей таблице в лаборатории испытания твёрдости.

Для получения достоверных данных при измерениях твёрдости размер отпечатка должен находиться в пределах

$$0,2D < d < 0,6D. (3)$$

Диаметр отпечатка измеряют с помощью лупы Бринелля или микроскопа в двух взаимно перпендикулярных направлениях и определяют как среднее арифметическое из двух измерений. Лупа имеет шкалу, малое деление которой равно 0,05 мм (цена деления). На рисунке 10 показано измерение диаметра отпечатка с помощью лупы.

По результатам измерения диаметра отпечатка на данном материале твёрдость по Бринеллю определяется с помощью формулы (2) или по таблице определения чисел твёрдости по Бринеллю.

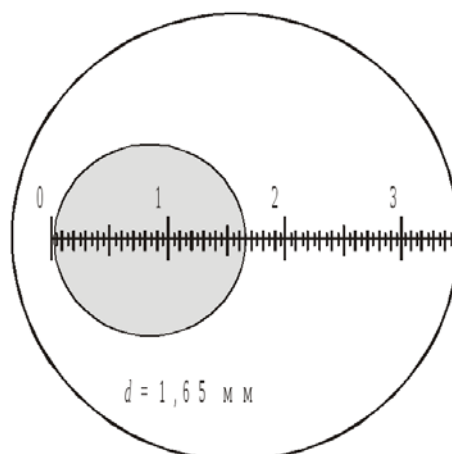


Рисунок 10 – Измерение диаметра отпечатка с помощью лупы

Как отмечалось ранее, между механическими свойствами (в частности, пределом прочности σ_b и твёрдостью по Бринеллю) существует определенная зависимость, которая может быть представлена эмпирической формулой:

$$\sigma_b = C \cdot HB \text{ [МПа]},$$

где C – коэффициент пропорциональности.

Для сталей (при 0,1–0,7 % C) $C = 3,3 \dots 3,4$

Для сталей (при 0,8–1,3 % C) $C = 3,5 \dots 3,6$

Для алюминия $C = 4,0$

Для меди $C = 4,8$

Для дуралюмина $C = 3,7$

Для латуни, бронзы $C = 5,3$

Следует отметить, что для хрупких материалов (чугун, силумин) надёжной корреляции между твёрдостью и пределом прочности получить не удаётся. В частности, для определения предела прочности серого чугуна пользуются следующей эмпирической формулой:

$$\sigma_b = \frac{10 \cdot (HB - 40)}{6} \text{ [МПа]}.$$

Твёрдость по методу Роквелла. Определение твёрдости по Роквеллу основано на вдавливании в исследуемый материал алмазного конуса с углом в вершине 120° (шкалы A и C) и последующим измерением глубины вдавливания h (рисунок 11) или стального шарика диаметром 1,5875 мм (шкала B).

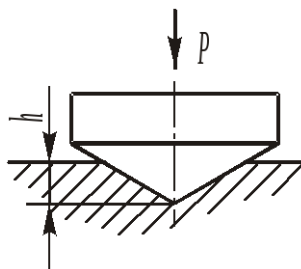


Рисунок 11 – Схема измерения глубины вдавливания индентора

Твёрдость по Роквеллу выражается отвлеченной величиной, зависящей от глубины вдавливания h , и может быть вычислена по формуле, но в этом нет необходимости, так как твёрдость определяется по показаниям прибора.

Метод Роквелла позволяет проводить испытания деталей после объёмной закалки и поверхностного упрочнения достаточной глубины. Определение твёрдости по этому методу практически не связано с порчей поверхности изделия.

Шкала C служит для испытания твёрдых материалов, имеющих твёрдость по Бринеллю от 230 до 700 кгс/мм². Алмазный конус вдавливается с усилием 150 кгс. Интервал измерения твёрдости по шкале C – от 22 до 68 единиц, твёрдость обозначается HRC .

Шкала A используется при испытании очень твердых материалов или тонких поверхностных слоев (0,5–1,0 мм). Применяют тот же алмазный конус, но сила вдавливания 60 кгс. Значение твердости определяют по шкале C , но обозначают HRA . Интервал измерения твёрдости по этой шкале от 70 до 85 единиц.

Шкала B предназначена для испытания мягких материалов, имеющих твёрдость по Бринеллю от 60 до 230 кгс/мм². Стальной шарик диаметром 1,5875 мм вдавливается с усилием в 100 кгс. Твёрдость измеряется в пределах от 25 до 100 единиц шкалы B и обозначается HRB .

Твёрдость по Виккерсу. Метод заключается во вдавливании алмазного наконечника, имеющего форму правильной четырехгранной пирамиды, в образец (изделие) под действием нагрузки P и измерении диагонали отпечатка d , оставшегося после снятия нагрузки (рисунок 12).

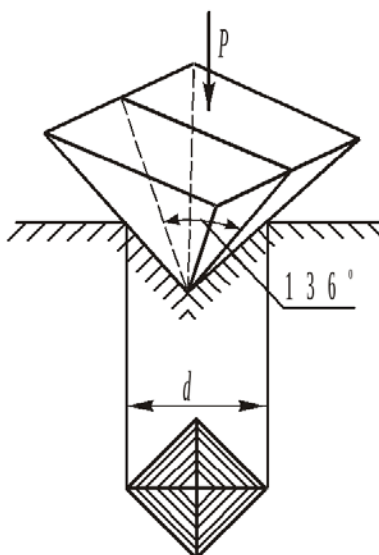


Рисунок 12 –Схема оставшегося отпечатка после введения индентора по методу Роквелла

Нагрузка P может меняться от 9,8 Н (1 кгс) до 980 Н (100 кгс). Твёрдость по Виккерсу:

$$HV = 0,189 \frac{P}{d^2} \text{ [МПа]},$$

если P выражена в Н, и

$$HV = 1,854 \frac{P}{d^2} \text{ [кгс/мм}^2\text{]},$$

если P выражена в кгс.

Метод используют в основном для определения твёрдости деталей малой толщины, тонких покрытий или твёрдости внешних слоев детали после неглубокого поверхностного упрочнения (например, после азотирования). При рациональном выборе нагрузки на приборе Виккерса можно проводить измерения, заменяя методы Бринелля и Роквелла.

Чем тоньше материал, покрытие или упрочнённый слой, тем меньше должна быть нагрузка. Число твёрдости по Виккерсу HV определяют по специальным таблицам по измеренной величине d (диагонали отпечатка в миллиметрах) с учётом приложенной при измерении нагрузки.

Микротвёрдость. Определение микротвёрдости (твёрдости в микроскопически малых объемах) необходимо для тонких покрытий, отдельных структурных составляющих сплавов (рисунок 13).

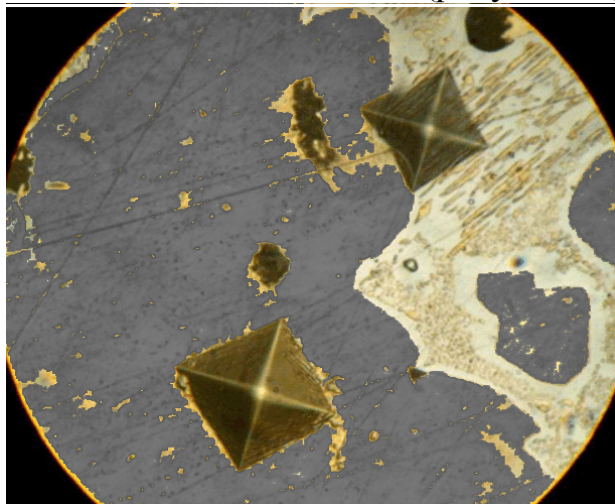


Рисунок 13 – Определение микротвердости

Прибор для определения микротвёрдости состоит из механизма для вдавливания алмазной пирамиды с небольшой нагрузкой и металлографического микроскопа. В испытываемую поверхность вдавливают алмазную пирамиду под нагрузкой 0,05...5,00 Н. Твёрдость H определяют по той же формуле, что и твердость по Виккерсу:

$$H = 0,189 \frac{P}{d^2},$$

если нагрузка P выражена в (Н).

Цель работы состоит в изучении методов определения твердости материалов (методом Бринелля, Роквелла, определение микротвердости) и по полученным данным устанавливается связь твердости с концентрацией углерода в сталях и связь предела прочности с твердостью материалов.

Значение твердости измеряется на каждом образце не менее трех раз и в таблицу записывается среднее значение твердости.

Протокол 1 испытания на твердость по Бринеллю

№ п/п	Толщина и материал образца	Диаметр шарика	Нагрузка, кгс	Д отпечатка, мм	Твердость, НВ
1					
2					

Протокол 2 испытание на твердость по Роквеллу

№ п/п	Материал образца	Шкала прибора	Твердость HR			Твердость	
			1 замер	2 замер	3 замер	Среднее значение	По Бринеллю

Контрольные вопросы

1. На каком принципе основано определение твёрдости по методу Бринелля?
2. Каким методом определяют твёрдость закалённой стали?
3. Каким методом определяют твёрдость отожженной (мягкой) стали?
4. Какой наконечник используют при определении микротвёрдости?
5. Какой метод используется при определении твёрдости тонких поверхностных слоёв?
6. Каким методом определяют твёрдость отдельных зёрен?
7. Какие нагрузки применяются при определении твёрдости по методу Роквелла?
8. Как можно предварительно оценить твёрдость образца?
9. Как нужно подготовить образец к испытанию твёрдости?
10. Какой метод измерения твёрдости является более универсальным: по Бринеллю или по Роквеллу?

Лабораторная работа №4 «Изучение микроструктур углеродистых и легированных сталей в равновесном состоянии»

Цель работы: изучение микроструктуры углеродистых сталей в равновесном состоянии, определение марки сталей, установление связи

между структурой стали, диаграммой состояния Fe-Fe₃C и свойствами сталей.

Приборы и материалы: набор микрошлифов в лабораторной коллекции отожженных углеродистых сталей, металлографические микроскопы, твердомеры Роквелла.

Равновесное состояние сплава достигается при очень медленном охлаждении, при котором все фазовые превращения закончились и описываются соответствующей диаграммой равновесия.

Равновесные структуры сталей и превращения в них описываются диаграммой состояния «железо-цементит». Допустимо считать, что равновесные структуры в сталях формируются при охлаждении вместе с выключенной печью (рисунок 14).

В сплавах железа с углеродом существуют следующие фазы.

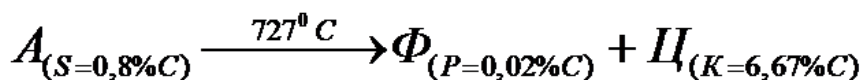
Жидкость (жидкий раствор углерода в железе), существующая выше линии ликвидуса.

Цементит (Ц) – химическое соединение железа с углеродом – карбид железа Fe₃C. В цементе содержится 6,67 % С, он имеет сложную ромбическую решетку. Цементит тверд (НВ 800) и хрупок ($d = 0$), прочность его на растяжение очень мала ($d_b = 40$ МПа), $t_{пл} = 1250$ °С. Цементит – фаза метастабильная (временно устойчивая), при $t > 950$ °С за несколько часов распадается на железо и графит.

Аустенит (А) – твердый раствор внедрения углерода в g-железе. Кристаллическая решетка – гранцентрированная кубическая (ГЦК). Максимальная растворимость углерода в нем 2,14% при $t = 1147$ °С. Аустенит немагнитен.

Феррит (Ф) – твердый раствор внедрения углерода в a-железе. Кристаллическая решетка – объемно-центрированная кубическая. Максимальная растворимость углерода в нем 0,02% при $t = 727$ °С. Феррит мягок и пластичен. При комнатной температуре феррит имеет $св = 250$ МПа; НВ 60–90 (600–900 МПа); $ст = 120$ МПа; $d = 40–50$ %; $j = 75$ %.

Перлит (П) – механическая смесь (эвтектоидная) феррита и цементита. Перлит содержит 0,8 % углерода и образуется при $t = 727$ °С в результате распада аустенита по эвтектоидной реакции:



В зависимости от формы частичек цементита перлит бывает пластинчатым и зернистым. Пластинчатый перлит имеет $с_b = 800$ МПа; НВ 230; $d_b = 9–12$ %; у зернистого перлита $с_b = 700$ МПа; НВ 190; $d_b = 18 – 25$ %.

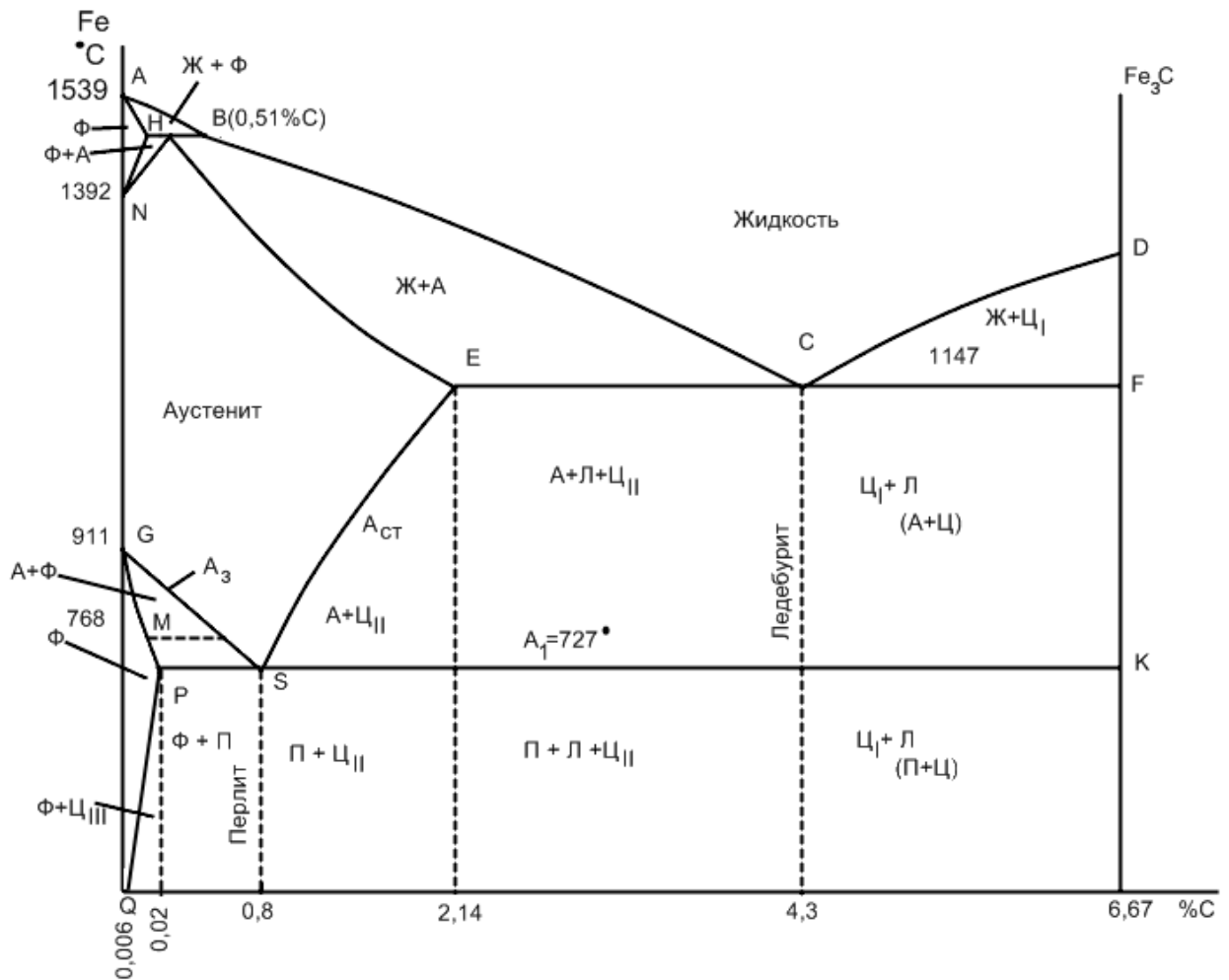


Рисунок 14 - Диаграмма состояния «железо-цементит»

Сплавы с содержанием углерода от 0,02 до 2,14% являются сталями.

Сплавы с содержанием углерода менее 0,02% являются техническим железом. Техническое железо, как видно из диаграммы состояния Fe-Fe₃C может быть однофазным (Ф) или двухфазным (Ф+Ц_{III}). Цементит третичный (Ц_{III}) располагается в виде тонких включений по границам зерен феррита (рисунок 15).

Стали в равновесном (отожженном) состоянии подразделяются на доэвтектоидные, эвтектоидную и заэвтектоидные.

Доэвтектоидные стали содержат от 0,02 % до 0,8 % углерода. Структура их состоит из феррита (светлые зерна) и перлита (темные зерна). С увеличением содержания углерода увеличивается количество зерен перлита, а феррита уменьшается (рисунок 15).

Эвтектоидная сталь содержит 0,8 % углерода. Структура ее состоит только из перлита (П). Строение перлита различимо при относительно больших увеличениях (×600). При полировке и травлении шлифа на его поверхности создается рельефность. Твердые, малотравящиеся пластинки цементита выступают над ферритными и затеняют их и, кроме того, из-за

повышенной травимости феррита, он выглядит тусклым темным (рисунок 14).

Заэвтектоидные стали содержат от 0,8 % до 2,14 % углерода. Структура их состоит из перлита и цементита вторичного (П + Ц_п).

Цементит вторичный, выделяясь из аустенита при медленном охлаждении, образует более или менее сплошную сетку, располагающуюся по границам перлитных участков. Толщина сетки увеличивается с повышением содержания углерода в стали (рисунок 15).

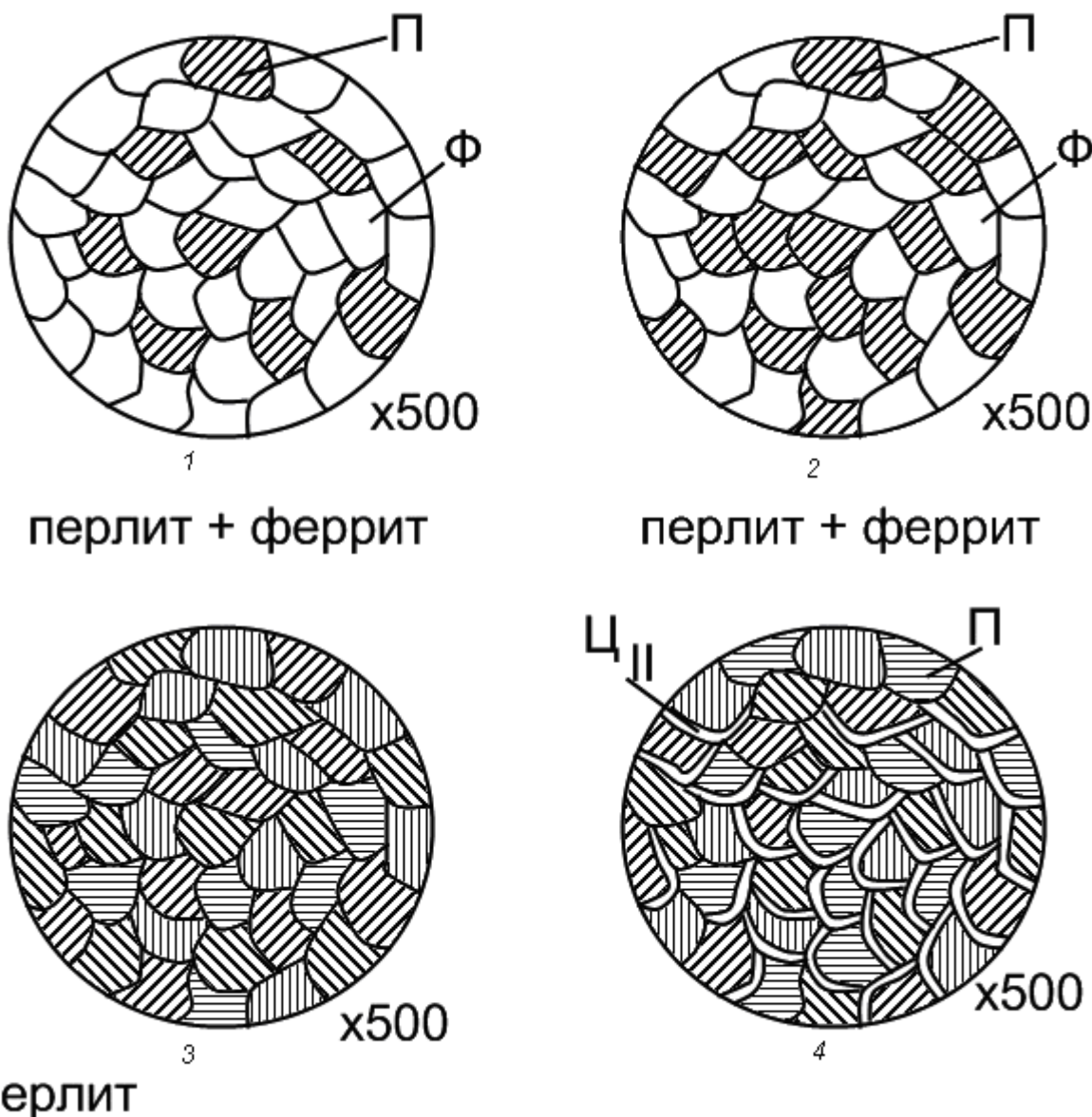


Рисунок 15 – Микроструктуры сталей с различным содержанием углерода: 1 – сталь Ст3 (0,17 % С); 2 – сталь 35 (0,35 % С); 3 – сталь У8 (0,8 % С); 4 – сталь У10 (1 % С)

Свойства углеродистых сталей зависят от содержания в ней углерода. По мере увеличения содержания углерода возрастает массовая доля

цементита в сталях и уменьшается доля феррита. Это приводит к повышению твердости и прочности стали, но снижает ее пластичность (рисунок 16).

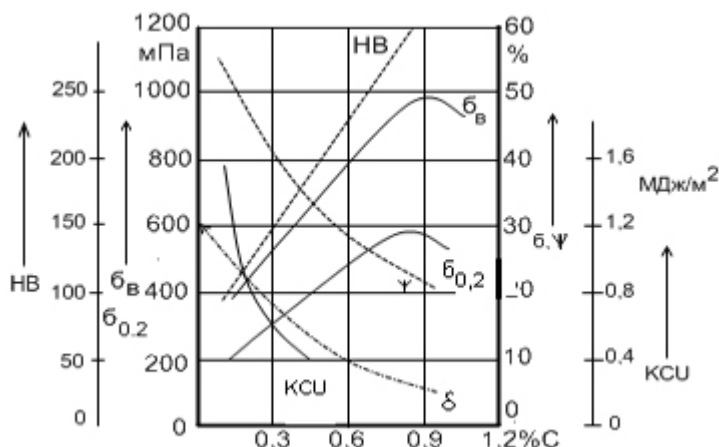


Рисунок 16 – Зависимость механических свойств стали от содержания в ней углерода

Изменяются физические и технологические свойства. К технологическим свойствам сталей относятся свариваемость, обрабатываемость резанием и давлением, стойкость к изнашиванию, восприимчивость к закалке, стойкость к отпуску и др.

Например, стали с содержанием углерода до 0,37 % хорошо свариваются, при повышении содержания углерода свариваемость ухудшается. Стойкость сталей к изнашиванию, наоборот, возрастает при увеличении содержания углерода.

По структуре стали, находящейся в равновесном состоянии с помощью микроскопа можно определить содержание в ней углерода. Практически весь углерод стали находится в перлите, в феррите при комнатной температуре углерода очень мало (10–7 %). Определяется площадь поверхности микрошлифа стали, занятая перлитом. Например, она составляет 50 %. Зная, что в перлите 0,8% углерода, составляется пропорция и определяется содержание углерода:

$$100 \% \text{ П} - 0,8 \% \text{ С}$$

$$50 \% \text{ П} - x \% \text{ С}$$

$$x = 0,8 \cdot 50 / 100 = 0,4 \% \text{ С}$$

По ГОСТ 1050-89 сталь содержащая 0,4 % С, является качественной конструкционной марки 40.

При определении содержания углерода в заэвтектоидной стали устанавливают площади поверхности шлифа, занятых перлитом и цементитом вторичным. Затем определяется содержание углерода в перлите и цементите. Сумма полученных результатов является содержанием углерода.

Углеродистые стали относятся к числу самых распространенных конструкционных материалов. Объем производства достигает 80 % от общей

выплавки стали. Достоинства этих сталей являются удовлетворительные механические свойства в сочетании с технологичностью и низкой стоимостью. К главным недостаткам углеродистых сталей относятся высокая критическая скорость закалки, небольшая прокаливаемость (до 15 мм), невысокая стойкость к отпуску.

Учитывая свойства сталей и требования к ним, углеродистые стали по назначению делятся на

- строительные, содержащие до 0,37 % С;
- машиностроительные или конструкционные, содержащие до 0,85 % С, которые в зависимости от окончательной термической обработки подразделяются на цементуемые (0,3 %), улучшаемые (от 0,3 % до 0,5 %) и средне-отпущенные или рессорно-пружинные (от 0,5 % до 0,85 %);
- инструментальные углеродистые стали, содержащие от 0,7 % до 1,3 % С.

В значительной степени свойства углеродистых сталей, а, следовательно, и области их применения зависят от содержания в них вредных примесей серы, фосфора, неметаллических включений, газов. Чем меньше их в стали, тем выше ее качество. Соответственно углеродистые стали делятся на стали обыкновенного качества, качественные, высококачественные и особо высококачественные.

Стали обыкновенного качества (ГОСТ 380-2005) содержат значительное количество вредных примесей, до 0,07 % фосфора, 0,06 % серы. Содержание углерода в них от 0,06 % до 0,49 %, в равновесном состоянии они имеют феррито-перлитную структуру. Стали обыкновенного качества выпускают преимущественно в виде различных профилей, листов, проволоки.

Маркируются стали обыкновенного качества буквами «Ст» и цифрами, показывающими условный номер марки. Чем больше условный номер стали, тем больше содержание углерода и перлита в ней и тем выше ее прочность.

Углеродистую сталь обыкновенного качества изготавливают следующих марок: Ст0, Ст1кп, Ст1пс, Ст1сп, Ст2кп, Ст2пс, Ст2сп, Ст3кп, Ст3кп, Ст3сп, Ст3Гпс, Ст3Гсп, Ст4кп, Ст4пс, Ст4сп, Ст5пс, Ст5сп, Ст5Гпс, Ст6пс, Ст6сп.

Углеродистые стали обыкновенного качества применяются для изготовления ненагруженных деталей машин и механизмов, крепежных деталей. Стали Ст5 и Ст6 предназначены для изготовления рельсов, железнодорожных колес, валов, шкивов и других деталей грузоподъемных и сельскохозяйственных машин.

Буквы кп, пс, сп, стоящие за цифрой указывают степень раскисления стали (кипящая, полуспокойная, спокойная). Из спокойной стали наиболее полно удален кислород, они надежно эксплуатируются при температурах до -50°C .

Стали качественные конструкционные (ГОСТ 1050-89) содержат не более 0,035 % фосфора, не более 0,04 % серы. Углерода в них от 0,05 % до

0,85 %. Выпускаются следующие марки: 05кп, 08кп, 08пс, 08, 10кп, 10пс, 10, 15кп, 15пс, 15, 20кп, 20пс, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85.

Двузначные числа в марке показывают содержание углерода в сотых долях процента. По содержанию углерода их подразделяют на малоуглеродистые (от 0,05 % до 0,25 % С), среднеуглеродистые (от 0,25 % до 0,6 %), высокоуглеродистые (от 0,6 % до 0,85 %). Стали 05кп, 08кп, 08, 10 идут на изготовление деталей сложной конфигурации методом холодной штамповки (кузова автомобилей, корпуса, кожухи, резервуары, емкости, трубы средней прочности и др.). Из сталей 15, 15кп, 20 изготавливают болты, гайки, винты, шпильки, пальцы, оси, крюки и другие детали неответственного назначения. Часто детали из этих сталей подвергают поверхностному упрочнению цементацией или цианированием. Стали 30, 35, 40, 45 используются для изготовления осей, коленчатых валов, шатунов, втулок, винтов, шайб и др. Стали с повышенным содержанием углерода и марганца (65, 70, 80, 60Г, 65Г, 70Г) применяются в качестве рессорно-пружинных. Из стали 75 изготавливают крановые колеса, из стали 85 выпускные клапаны компрессоров.

Для изготовления обработкой резанием на станках-автоматах деталей массового производства (винты, гайки, болты, шпильки, зубчатые колеса) применяют стали с повышенным содержанием серы (до 0,3 %), фосфора (до 0,16 %) и часто марганца (до 1,5 %). Такие стали называются автоматными. Они хорошо обрабатываются резанием вследствие образования ломкой и мелкой стружки. В соответствии с ГОСТ 1414-75 автоматные стали маркируют А11, А12, А20, А30, А40Г. в обозначении марки буква А указывает, что сталь автоматная, цифры показывают содержание углерода в сотых долях процента. Улучшение обрабатываемости резанием достигается введением в сталь свинца (АС11, АС40).

Углеродистые инструментальные стали (ГОСТ 1435-74) выпускаются качественными (У7–У13) или высококачественными (У7А–У13А, содержание серы не более 0,02 %, фосфора < 0,03 %). В марке буква У показывает, что сталь углеродистая инструментальная, а цифра показывает содержание углерода в десятых долях процента, буква А в конце марки показывает, что сталь высококачественная.

Наиболее пластичные из названных сталей (доэвтектоидная У7, У7А, эвтектоидная У8, У8А) идут на производство молотков, стамесок, зубил, штампов и прочего инструмента, работающего в условиях ударных нагрузок.

Из сталей У10, У11, У11А изготавливают резцы, сверла, метчики, фрезы и прочий мерительный и режущий инструмент для резания дерева, мягких материалов, из сталей У12, У13, У13А – твердый, работающий без ударных нагрузок инструмент (напильники, рашпили, бритвы).

Порядок выполнения:

1. Начертить область диаграммы состояния системы Fe-Fe₃C, соответствующую сталям.

2. На диаграмме состояния Fe-Fe₃C провести вертикальные линии, соответствующие рассматриваемым сплавам и дать описание процессов превращений при охлаждении.

3. Изучить и зарисовать микроструктуру доэвтектоидных, эвтектоидной и заэвтектоидных сталей. Микроструктуры зарисовать в кругах диаметром 30–40 мм или в квадратах 40×40 мм. Нет надобности передавать фотографически точное изображение. При зарисовке необходимо уловить характерные особенности структуры (например, зерна пластинчатого перлита штрихуются в разных направлениях, а структура феррита изображается только границами зерен). Под каждой зарисованной микроструктурой указать наименование сплава, указать фазы и структурные составляющие, увеличение.

4. Определить количество углерода в заданной стали и определить ее марку.

5. Определить твердость исследуемых деталей (не менее трех) на приборе Роквелла и построить графики зависимости твердости от количества углерода. Сделать выводы.

6. Написать отчет по работе в соответствии с вышеуказанными пунктами.

Контрольные вопросы

1. Какие сплавы называются сталями?
2. Как классифицируются углеродистые стали по структуре?
3. Какие фазы и структурные составляющие имеются в углеродистых сталях?
4. Как изменяются механические свойства углеродистых сталей по мере увеличения содержания углерода?
5. Как определяется содержание углерода в сталях по микроструктуре?
6. Как классифицируются стали по назначению?
7. Какие вредные примеси влияют на качество стали?
8. Как маркируются стали обыкновенного качества, их применение?
9. Как маркируются стали качественные конструкционные, их применение?
10. Как маркируются углеродистые инструментальные стали, их применение?
11. Какие стали называются автоматными, их маркировка и применение?

Лабораторная работа №5 «Изучение микроструктур чугунов»

Цель работы: Исследовать металлографически микроструктуру белых и графитизированных чугунов. Изучить маркировку и практическое применение графитизированных чугунов.

Приборы и материалы: Металлографические микроскопы. Коллекция микрошлифов чугунов.

Основные положения

К чугунам относятся сплавы железа с углеродом, содержащие более 2,14 % С (рисунок 17).

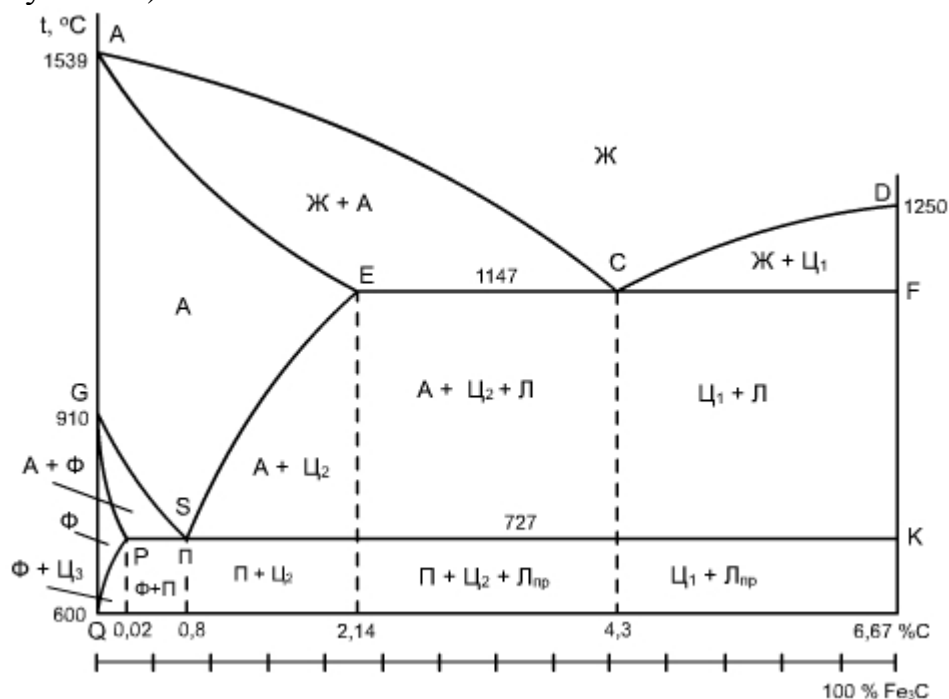


Рисунок 17 - Структурная диаграмма состояния системы железо-цементит.

Практическое применение находят чугуны с содержанием углерода до 4 – 4,5 %. При большем количестве углерода, механические свойства существенно ухудшаются.

Промышленные чугуны не являются двойными сплавами, а содержат кроме Fe и C, такие же примеси, как и углеродистые стали Mn, Si, S, P и др.

Белые чугуны

Белый чугун – это чугун, в котором весь имеющийся углерод находится в химически связанном состоянии, в виде карбида железа (F₃C - цементит).

Микроскопический анализ белых чугунов проводят, используя диаграмму состояния Fe – Fe₃C (рисунок 16).

Из-за присутствия большого количества цементита белый чугун обладает высокой твердостью (HB = 4500 – 5500 МПа), хрупок и практически не поддается обработке резанием. Белый чугун имеет ограниченное применение, как конструкционный материал.

Обычной структурной составляющей белых чугунов является ледебурит.

Ледебурит – это смесь аустенита и цементита, образующуюся по эвтектической реакции при переохлаждении жидкости состава точки С (4,3 % углерода) ниже температуры 1147 °С.

1147°C

ЖС \rightarrow АЕ + ЦF- эвтектика (ледебурит)

Чугун, содержащий 4,3 %С (точка С), называется белым эвтектическим чугуном. Левее точки С находятся доэвтектические, а правее - заэвтектические белые чугуны.

В доэвтектических белых чугунах из жидкой фазы кристаллизуется аустенит, затем эвтектика – ледебурит.

При охлаждении чугуна в интервале температур от 1147 °С до 727 °С аустенит обедняется углеродом, его состав изменяется по линии ES и выделяется вторичный цементит. При небольшом переохлаждении ниже 727 °С аустенит состава точки S по эвтектоидной реакции распадается на перлит (Ф + Ц)

Вторичный цементит, выделяющийся по границам зерен аустенита, сливается с цементитом ледебурита. Под микроскопом трудно различить включения вторичного цементита.

При комнатной температуре в доэвтектических белых чугунах находятся три структурные составляющие – перлит, ледебурит и вторичный цементит (рисунок 18).

Эвтектический белый чугун при комнатной температуре состоит из одной структурной составляющей – ледебурита.

Ледебурит превращенный состоит из перлита и цементита.

В заэвтектических белых чугунах из жидкости кристаллизуется первичный цементит в виде плоских игл, затем образуется ледебурит.

При комнатной температуре заэвтектический белый чугун содержит две структурные составляющие: первичный цементит и ледебурит.

Фазовый состав белых чугунов при комнатной температуре такой же, как в углеродистых сталях в равновесном состоянии, все они состоят из феррита и цементита.

Графитизированные чугуны – это чугуны, в которых весь углерод или большая часть, находится в свободном состоянии в виде графитных включений той или иной формы.

В зависимости от формы графитных включений различают серые, высокопрочные, ковкие чугуны и чугуны с вермикулярным графитом.

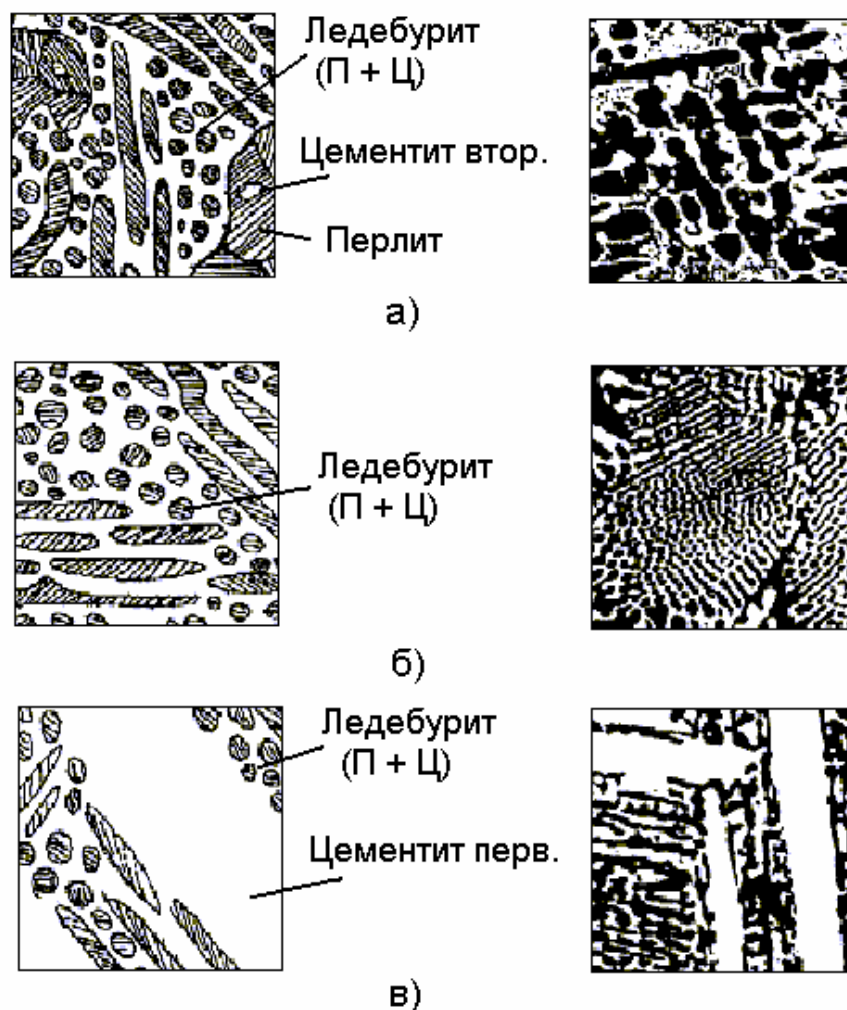


Рисунок 18 - Микроструктура белых чугунов:
 а) доэвтектический; б) эвтектический; в) заэвтектический.

Серые чугуны получают при меньшей скорости охлаждения отливок, чем белые. Они содержат 1 – 3 % Si – обладающего сильным графитизирующим действием.

Серый чугун широко применяется в машиностроении. Он хорошо обрабатывается режущим инструментом. Из него производят станины станков, блоки цилиндров, фундаментные рамы, цилиндрические втулки, поршни и т.д.

Серые чугуны маркируются буквами СЧ и далее следует величина предела прочности при растяжении (в кгс/мм²), например СЧ 15, СЧ 20, СЧ 35 (ГОСТ 1412-85).

Графит в сером чугуне наблюдается в виде темных включений на светлом фоне нетравленного шлифа. По нетравленному шлифу оценивают форму и дисперсность графита, от которых в сильной степени зависят механические свойства серого чугуна.

Серые чугуны подразделяют по микроструктуре металлической основы в зависимости от полноты графитизации. Степень или полноту графитизации оценивают по количеству свободно выделившегося (несвязанного) углерода.

Полнота графитизации зависит от многих факторов, из которых главными являются скорость охлаждения и состав сплава. При быстром охлаждении кинетически более выгодно образование цементита, а не графита. Чем медленнее охлаждение, тем больше степень графитизации. Кремний действует в ту же сторону, что и замедление охлаждения, т.е. способствует графитизации, а марганец – карбидообразующий элемент – затрудняет графитизацию.

Если графитизация в твердом состоянии прошла полностью, то чугун содержит две структурные составляющие – графит и феррит. Такой сплав называется серым чугуном на ферритной основе (рисунок 19а).

Если же эвтектоидный распад аустенита прошел в соответствии с 727°C метастабильной системой $AS \rightarrow \Phi P + \text{ЦКК}$ эвтектоид (перлит), то структура чугуна состоит из графита и перлита. Такой сплав называют серым чугуном на перлитной основе. Наконец, возможен промежуточный вариант, когда аустенит частично распадается по эвтектоидной реакции на феррит и графит, а частично с образованием перлита. В этом случае чугун содержит три структурные – графит, феррит и перлит. Такой сплав называют серым чугуном на феррито-перлитной основе.

Феррит и перлит в металлической основе чугуна имеют те же микроструктурные признаки, что и в сталях. Серые чугуны содержат повышенное количество фосфора, увеличивающего жидкотекучесть и дающего тройную эвтектику.

В металлической основе серого чугуна фосфидная эвтектика обнаруживается в виде светлых, хорошо очерченных участков.

Высокопрочный чугун с шаровидным графитом получают модифицированием серого чугуна щелочно-земельными элементами. Чаще для этого используют магний, вводя его в жидкий расплав в количестве 0,02 – 0,03 %. Под действием магния графит кристаллизуется в шаровидной форме (рисунок 19б).

Шаровидные включения графита в металлической матрице не являются такими сильными концентраторами напряжений, как пластинки графита в сером чугуне. Чугуны с шаровидным графитом имеют более высокие механические свойства, не уступающие литой углеродистой стали.

Маркируют высокопрочный чугун буквами ВЧ и далее следуют величины предела прочности при растяжении (в кгс/мм²) ВЧ 40, ВЧ 45, ВЧ 80 (ГОСТ 7293-85). Так же, как и серые чугуны, они подразделяются по микроструктуре металлической основы в зависимости от полноты графитизации и бывают на ферритной, феррито-перлитной, перлитной основах. Высокопрочный чугун используется во многих областях техники взамен литой и ковкой стали, серого и ковкого чугунов. Высокие

механические свойства дают возможность широко применять его для производства отливок ответственного назначения, в том числе и в судовом машиностроении: головок цилиндров, турбокомпрессоров, напорных труб, коленчатых и распределительных валов и т.п.

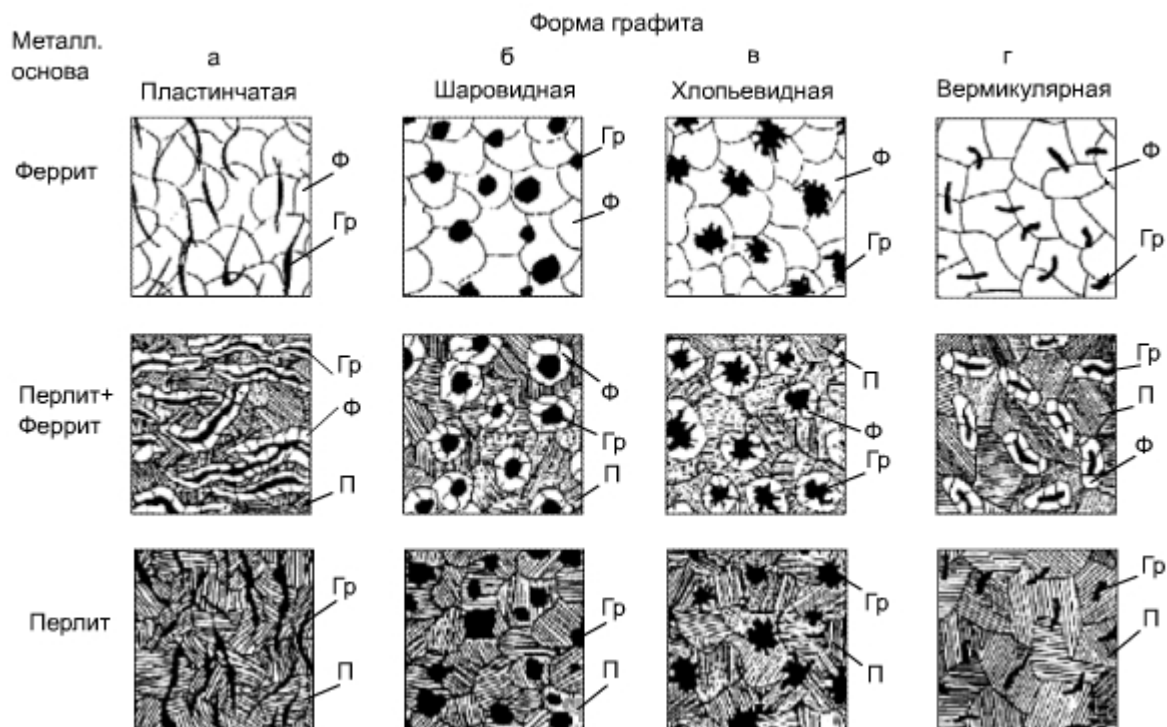


Рисунок 19 - Схема микроструктур графитизированных чугунов:
а) серые; б) высокопрочные; в) ковкие; г) с вермикулярным графитом

Ковкий чугун получают путем отжига отливок из белого чугуна. Получение ковкого чугуна основано на том, что вместо неустойчивого цементита белого чугуна при повышенных температурах образуется графит отжига белого чугуна. Мелкие изделия сложной конфигурации, отлитые из белого чугуна, отжигают (получают ковкий чугун) для придания достаточной пластичности, необходимой при их использовании в работе. Ковкий чугун маркируют буквами КЧ и далее следуют величины предела прочности при растяжении (в кгс/мм²) и относительного удлинения (в %), например, КЧ 35-10, КЧ 60-3 (ГОСТ 1215-79).

Графитизация идет путем растворения метастабильного цементита в аустените и одновременного выделения из аустенита более стабильного графита. Чем больше время выдержки при отжиге и меньше скорость охлаждения, тем полнее проходит графитизация. В зависимости от графитизации встречаются те же три основные типа структур, что и в сером чугуне с пластинчатым графитом: ковкие чугуны на ферритной, феррито-перлитной и перлитной основах (рисунок 19в).

От серых (литейных) чугунов ковкие чугуны отличаются по микроструктуре только формой графита.

Если на шлифах (рисунок 19а) серых чугунов графит имеет форму извилистых прожилок, то в ковких чугунах графит, называемый углеродом отжига, находится в форме более компактных хлопьевидных включения с ровными краями. Более компактная форма графита обеспечивает повышение механических свойств ковкого чугуна по сравнению с серым чугуном с пластинчатым графитом. Обладая механическими свойствами, близкими к литой стали и высокопрочному чугуну, высоким сопротивлением ударным нагрузкам, износостойкостью, обрабатываемостью резанием, ковкий чугун находит свое применение во многих отраслях промышленности. Из него изготавливают поршни, шестерни, шатуны, скобы, иллюминаторные кольца и др.

Чугуны с вермикулярным графитом получают как и высокопрочные чугуны модифицированием, только в расплав при этом вводится меньшее количество сфероидизирующих металлов. Маркируют чугуны с вермикулярным графитом буквами ЧВГ и далее следует цифра, обозначающая величину предела прочности при растяжении (кгс/мм^2), например, ЧВГ 30, ЧВГ 45 (ГОСТ 28394-89). Вермикулярный графит подобно пластинчатому графиту виден на металлографическом шлифе в форме прожилок, но они меньшего размера, утолщенные, с округлыми краями (рисунок 18г). Микроструктура металлической основы ЧВГ также как у других графитизированных чугунов может быть ферритной, перлитной и феррито-перлитной.

По механическим свойствам чугуны с вермикулярным графитом превосходят серые чугуны и близки к высокопрочным чугунам, а демпфирующая способность и теплофизические свойства ЧВГ выше, чем у высокопрочных чугунов. Чугуны с вермикулярным графитом более технологичны, чем высокопрочные и соперничают с серыми чугунами. Для них характерны высокая жидкотекучесть, обрабатываемость резанием, малая усадка. Чугуны с вермикулярным графитом широко используются в мировом и отечественном автомобилестроении, тракторостроении, судостроении, дизелестроении, энергетическом и металлургическом машиностроении для деталей, работающих при значительных механических нагрузках в условиях износа, гидрокавитации, переменном повышении температуры. Например, ЧВГ используется взамен СЧ для производства головок цилиндров крупных морских дизельных ДВС.

Порядок проведения работы и составления отчета

1. Дать определение чугуна и описать структурные составляющие белых и серых чугунов.

2. По представленным фотографиям микроструктуры чугунов определить структурные составляющие и вид металлической основы чугунов.

3. Определить по наблюдаемой в микроскоп структуре тип сплава (белый, серый, вермикулярный, ковкий и высокопрочный чугун).

4. Зарисовать просмотренные структуры. Указать все структурные составляющие чугуна и возможную маркировку.

Контрольные вопросы

1. Привести классификацию видов чугунов и дать их определение.
2. Дать определение структурным составляющим чугунов.
3. Пользуясь диаграммой железо-углерод, объяснить структурные превращения в чугунах.
4. Указать области и возможности применения чугунов.

Лабораторная работа №6 «Изучение микроструктуры цветных металлов и сплавов»

Цель работы: Изучение микроструктуры и свойств, маркировку и область применения цветных металлов и сплавов, и установление связи между структурой сплава и соответствующей диаграммой состояния. Получить практический навык микроанализа основных групп медных сплавов – латуней и бронз.

Приборы и материалы: Микроскоп металлографический. Коллекция микрошлифов

Теоретическая часть

Медь и сплавы на ее основе

Медь – металл красновато-розового цвета. Температура плавления 1083оС. Кристаллическая решетка – гранецентрированная кубическая с периодом 0,36153 нм. Плотность меди высокая – 8,94 г/см³. Медь характеризуют высокие тепло- и электропроводность; хорошо сопротивляется коррозии в обычных атмосферных условиях, в пресной и морской воде и других агрессивных средах, но имеет плохую устойчивость в сернистых газах и аммиаке, растворяется в кислотах-растворителях. Марки технической меди - М00, М0, М0б, М1б, М1, М1р, М2, М2р, М3, М3р (б – бескислородная, р – раскисленная). Содержание примесей - от 0,01 % до 0,5 %. Наиболее вредными примесями, вызывающими горячеломкость (красноломкость) меди и ее сплавов, являются свинец (допустимое содержание 0,04 %) и особенно висмут (допустимое содержание 0,001 %), который вызывает также и хладноломкость. Механические свойства меди зависят от ее чистоты и состояния. Для отожженной меди предел прочности при растяжении примерно 220 МПа, относительное удлинение от 40 % до 50 %. Применяют медь благодаря ее токо- и теплопроводящим свойствам в электротехнике (проводники, шины, коллекторы) как материал для теплообменников, водоохлаждаемых изложниц, кристаллизаторов, поддонов.

Структура деформированной и отожженной технической чистой меди – полиэдрические зерна с двойниковыми образованиями.

Различают следующие группы сплавов на основе меди: латуни (сплавы, где основным легирующим элементом является цинк), бронзы (сплавы с различными другими элементами) и медно-никелевые сплавы, которые в данной работе не рассматриваются.

Маркируют сплавы в соответствии с их химическим составом. Легирующие элементы обозначают русскими буквами : О – олово, Ц – цинк, Мц – марганец, Ж – железо. Ф – фосфор, Б – бериллий, А – алюминий, Н – никель, С – свинец, Х – хром и т.д.

Цифры обозначают количество соответствующих элементов в процентах. Если сплав деформируемый, то после букв Л (латунь) или Бр (бронза) перечисляют элементы, а затем соответственно их количество (ЛАН 59-3-2, БрАЖ 9-4), причем в латунях первая цифра отражает содержание меди, количество цинка определяется по остатку. В литейных сплавах буквы, обозначающие добавки, и цифры содержания чередуются (ЛЦ40С, БрА11Ж6Н6).

Медные сплавы отличаются высокими механическими и технологическими свойствами, хорошо сопротивляются износу и коррозии.

Латуни называют простыми, или двойными, если в них входят только медь и цинк, и сложными, или легированными (многокомпонентными), если в них введены другие элементы.

Структура латуней описывается диаграммой состояния Cu-Zn. При комнатных температурах до 39% цинка растворяется в меди, образуя фазу α - твердый раствор замещения цинка в меди. При большем содержании цинка появляется фаза β' – упорядоченный твердый раствор на основе электронного соединения CuZn с объемноцентрированной кубической решеткой. Эта фаза является твердой и хрупкой составляющей. В промышленном масштабе применяют только однофазные α - латуни и двухфазные ($\alpha+\beta$)-латуни (содержащие цинка не более 45 %), поэтому другие соединения меди с цинком не упоминаются. С увеличением содержания цинка прочность латуней увеличивается, особенно у двухфазных латуней, пластичность же возрастает до концентрации цинка от 30 % до 32 %, а затем резко уменьшается. В связи с этим однофазные латуни легко деформируются как в горячем, так и в холодном состояниях; двухфазные латуни обычно подвергают только горячей обработке давлением.

Легирующие элементы сообщают латуням более высокие свойства. Алюминий существенно повышает прочность, особенно в сочетании с никелем, марганцем, железом, кремнием; никель улучшает технологические свойства и коррозионную стойкость, олово тормозит коррозию в морской воде, свинец улучшает обрабатываемость резанием, железо измельчает зерно и наряду с небольшим количеством марганца увеличивает пластичность.

В современной технике применяют как деформируемые, так и литейные латуни, из которых получают плотные, лишенные ликвации отливки с высокими механическими свойствами, однако при литье существуют определенные трудности из-за возникновения крупных усадочных раковин.

Основной вид термической обработки латуней – отжиг для смягчения материала перед дальнейшей обработкой давлением, для получения в готовых полуфабрикатах нужных свойств, а также для устранения склонности к сезонному растрескиванию, которому подвержены латуни. Латунь ЛАНКМц75-2-2,5-0,5-0,5 – единственный известный дисперсионно твердеющий сплав, эффективно упрочняющийся в результате закалки и старения или НТМО. Прочность латуней можно повысить нагартовкой, но при этом снижается пластичность сплава.

Микроструктура деформированной и отожженной однофазной латуни представляет полиэдрические зерна α -твердого раствора с двойниковыми образованиями; из-за явления оптической анизотропии зерна могут быть неодинаково окрашены. В структуре двухфазной латуни наблюдаем светлые зерна фазы α - твердого раствора на темном фоне β' - фазы – упорядоченного твердого раствора на базе соединения CuZn .

Из простых однофазных латуней изготавливают проволоку, ленты, листы, трубы, фурнитуру, что требует больших степеней деформации при производстве даже без нагревания. В частности, латунь Л96 применяют для изготовления радиаторных и конденсаторных трубок. Из простых двухфазных латуней (Л59) заготовки производят только способом горячей деформации (листы, прутки, трубы, штамповки). Специальные латуни применяют для изготовления широкого ряда ответственных деталей с высокими свойствами, в том числе антифрикционными, в морском, химическом машиностроении, для теплотехнической аппаратура, крепежных изделий и арматуры, зубчатых колес, втулок и т.д.

В настоящее время применяемые в промышленности бронзы весьма многообразны, в данной работе будут рассмотрены только некоторые группы.

Оловянные бронзы – это традиционные сплавы, которые из-за высокой стоимости и дефицитности олова часто заменяют так называемыми безоловянными бронзами. Наибольшее практическое значение имеют бронзы, содержащие не более 20% олова. Диаграмма состояния медь-олово достаточно сложна, указывает на существование в зависимости от состава и температуры весьма разнообразных фаз и структурных составляющих. Однако структура сплавов, полученных в реальных производственных условиях, очень отличается от равновесной. До 5-6% олова в сплавах существует однофазный раствор замещения олова в меди (α -фаза). При большем содержании олова в структуре появляется эвтектоид ($\alpha+\delta$), где δ -фаза – электронное соединение Cu₃₁Sn₈ со сложной кубической решеткой. Он имеет высокую твердость и хрупкость, его появление в сплаве вызывает

резкое снижение пластичности и вязкости, повышает твердость и износостойкость. В микроструктуре двухфазных бронз эвтектоид выглядит в виде темных образований по границам светлых зерен твердого раствора. Широкий интервал кристаллизации обуславливает у оловянных бронз большую склонность к дендритной ликвации, низкую жидкотекучесть, рассеянную усадочную пористость и поэтому невысокую герметичность отливок. Для улучшения свойств, в том числе технологических, а также для уменьшения стоимости бронзы легируют. Цинк растворяется в меди, улучшает литейные свойства бронз, удешевляет их. Свинец повышает антифрикционные свойства и обрабатываемость резанием. Фосфор, являясь раскислителем бронз, улучшает их жидкотекучесть, твердость, упругие и антифрикционные свойства, при этом ухудшает технологическую пластичность. Он образует фосфид меди Cu_3P . Никель способствует измельчению структуры, повышению механических свойств, коррозионной стойкости, плотности отливок и уменьшению ликвации. Оловянные бронзы превосходят медь и латуни по коррозионной стойкости, особенно в морской воде.

Основными видами термической обработки являются гомогенизация и промежуточный отжиг, направленные на облегчение обработки давлением.

Примерный состав и свойства не которых бронз приведены в табл. 1.

Деформируемые бронзы (БрОФ6,5-0,15) применяют для изготовления упругих элементов (мембран, пружин), сеток в аппаратостроении. Бронзы с повышенным содержанием олова (литейные), особенно с добавками фосфора, используют для изготовления подшипников скольжения, подпятников кранов, шестерен, червячных винтов и других деталей, работающих на трение.

Алюминиевые бронзы получили наибольшее распространение как более дешевые заменители оловянных; имеют более высокие прочностные свойства, чем латуни и оловянные бронзы.

Структура алюминиевых бронз соответствует диаграмме состояния системы медь-алюминий. При комнатной температуре в меди может раствориться примерно 9% алюминия, однако в реальных сплавах из-за ликвации предельная концентрация фазы α -твердого раствора замещения алюминия в меди снижается до 8% и даже менее. При большем содержании алюминия в сплавах появляется эвтектоид ($\alpha + \gamma_2$), который получается в результате распада высокотемпературной фазы β . В результате этого прочность сплавов повышается, а пластичность начинает падать. Оптимальные механические свойства имеют сплавы, содержащие от 5 % до 8 % алюминия. Узкий интервал кристаллизации определяет лучшую жидкотекучесть, меньшую склонность к ликвации, большую плотность отливок, но значительную усадку при кристаллизации и ряд других недостатков по сравнению с оловянными бронзами. Для улучшения свойств сплавы легируют. Железо повышает прочностные свойства бронз, как и

марганец, который одновременно повышает и пластичность, увеличивая способность к холодной обработке давлением и позволяя проводить ее для сплавов с содержанием алюминия более 7 %. Никель повышает механические свойства, коррозионную стойкость и жаропрочность бронз, делает возможным проведение упрочняющей термической обработки по режиму закалка с последующим старением. Одни алюминиевые бронзы применяют только как деформируемые (БрА5, БрАЖМц10-3-1,5), другие - только как литейные (БрАЖН11-6-6), третьи - и как деформируемые, и как литейные сплавы (БрА9Мц2Л). Деформируемые полуфабрикаты применяют в состоянии поставки, после дорекристаллизационного (для повышения упругих свойств) и рекристаллизационного отжигов. Термически упрочняемой является бронза БрАЖН10-4-4 (закалка от 980 °С и старение при 400 °С), эта бронза сохраняет удовлетворительную прочность до температур от 400 °С до 500 °С.

Наиболее пластичная и наименее прочная – бронза БрА5. Ее применяют для изготовления пружин, мембран, сильфонов, деталей, работающих в морской воде, разменной монеты. Бронзу БрА10 применяют для фасонных отливок, прессованных изделий. Бронзы с большим (от 9 %) содержанием алюминия и добавками железа, никеля, марганца кроме твердого раствора имеют в структуре включения эвтектоида (до 35 %) и железосодержащей фазы $FeAl_3$, потому обладают повышенной прочностью и антифрикционностью. Из них изготавливают ответственные детали: шестерни, втулки, зубчатые колеса, седла клапанов, подшипники и т.д.

Бериллиевые бронзы

Отличаются уникальным сочетанием свойств: высокими пределами упругости и прочности, высокой тепло- и электропроводностью, коррозионной стойкостью в сочетании с повышенным сопротивлением усталости, ползучести и изнашиванию. Ценным свойством является отсутствие искры при ударе. Основным недостатком этих бронз является их высокая стоимость.

Бериллий обладает уменьшающейся растворимостью в меди при понижении температуры (от 2,7 % до 0,2 % при комнатной температуре). В структуре бронзы БрБ2 при комнатной температуре в отожженном состоянии присутствует твердый раствор замещения бериллия в меди α и включения γ -фазы на основе интерметаллида $CuBe$. Эта бронза эффективно упрочняется термической обработкой. После закалки с температур от 750 °С до 790 °С (соответствующих однофазной области) в воде структура бериллиевых бронз представлена пересыщенным твердым раствором, что позволяет легко деформировать ее без нагревания. Последующее старение при 330 °С в течение 2-5 ч вызывает распад пересыщенного раствора закалки и формированию дисперсных включений γ' -фазы, что приводит к повышению прочности. Еще большее упрочнение достигается в результате применения режима НТМО. Легирование бронз никелем (от 0,2 % до 0,5 %) и титаном (от

0,1 % до 0,25 %) позволяет снизить содержание дефицитного дорогого бериллия до 1,9 % без заметного снижения механических свойств (БрБНТ 1,7, БрБНТ 1,9). Из бериллиевых бронз применяют детали особо ответственного назначения: упругие элементы точных приборов, детали, работающие на износ (кулачки, шестерни, червячные колеса), подшипники, работающие при повышенных скоростях, давлениях и температурах, инструмент, не дающий искры.

Свинцовые бронзы

Свинцовые бронзы имеют наилучшие антифрикционные свойства и самую высокую теплопроводность из всех сплавов на основе меди, поэтому их широко применяют для изготовления высоконагруженных подшипников скольжения, работающих при высоких скоростях (в авиационных двигателях, дизелях, мощных турбинах). Наибольшее применение нашли бронзы с содержанием свинца от 25% до 30 %. Медь и свинец в твердом состоянии образуют эвтектику, структура сплава состоит из кристаллов меди и включений свинца, которые располагаются по границам зерен или заполняют междендритные пространства. Прочность и твердость свинцовых бронз невысока, поэтому их наплавляют на стальные трубы или ленты и уже из них изготавливают подшипники.

Алюминий и его сплавы

Алюминий – металл серебристо-белого цвета, имеет температуру плавления 660 °С. Кристаллическая решетка – гранцентрированный куб с периодом 0,40412 при комнатной температуре. Плотность 2,7 г/см³, что позволяет отнести его к легким металлам.

Алюминий имеет высокую тепло- и электропроводность, уступая серебру, меди и золоту; хорошо полируется. На поверхности металла находится оксидная пленка, защищающая его от действия влажной атмосферы и многих органических и минеральных кислот-окислителей. В щелочных средах быстро растворяется. Производится алюминий особой чистоты А999, высокой чистоты А995, А99, А97, А95 и технической чистоты А85, А8, А7, А6, А5, А0 (количество примесей возрастает соответственно от 0,001 % до 1 %). Наиболее вредной примесью является железо, образующее соединение FeAl₃, которое выделяется в виде игл и резко снижает пластичность и коррозионную стойкость алюминия. При наличии кремния могут образовываться в зависимости от состава два тройных соединения α(Fe-Al-Si) и β(Fe-Al-Si), имеющие высокую хрупкость и снижающие пластичность. Технический алюминий в отожженном состоянии имеет прочность 70-80 МПа, относительное удлинение около 35 %. Алюминий применяется для ненагруженных деталей и элементов конструкций, когда от материала требуется легкость, свариваемость, пластичность, коррозионная стойкость (рамы, двери, трубопроводы, фольга, цистерны, посуда). Он применяется для производства теплообменников, в электротехнике - для конденсаторов, проводов, кабелей, шин, для производства рефлекторов и т.д.

Алюминиевые сплавы

К преимуществам большинства промышленных алюминиевых сплавов можно отнести невысокую плотность (до $2,85 \text{ г/см}^3$), высокую удельную прочность, хорошую коррозионную стойкость, тепло- и электропроводность. В качестве основных легирующих элементов в алюминиевых сплавах применяют медь, магний, кремний, марганец, цинк, реже литий, никель, титан, бериллий, цирконий, железо и др. Большинство легирующих элементов образуют с алюминием ограниченные твердые растворы замещения с переменной растворимостью, а также промежуточные фазы с алюминием и между собой – двойные, тройные и многокомпонентные интерметаллиды.

В зависимости от способа производства заготовок принято делить сплавы на деформируемые, литейные и спеченные, которые строго говоря являются разновидностью деформируемых. Сплавы могут быть не упрочняемыми и упрочняемыми термообработкой. Существует более подробное деление сплавов в соответствии с их свойствами (нормальной прочности, высокопрочные, жаропрочные, повышенной пластичности и коррозионной стойкости, антифрикционные и т.д.).

Литейные алюминиевые сплавы

Эти сплавы применяются для фасонного литья. Наиболее широко распространены сплавы силумины на основе системы Al-Si (простые и сложные), для которых характерны малые интервалы кристаллизации и очень хорошие литейные свойства. В качестве литейных применяют также сплавы на основе систем Al-Cu, Al-Mg и другие более сложные сплавы, которые по составу похожи на аналогичные деформируемые, но содержат несколько больше Cu, Mg, а также тугоплавкие добавки (титан, никель). Однако эти сплавы обладают худшими литейными свойствами, поэтому далее будут рассмотрены только силумины. Маркировка литейных сплавов производится в соответствии с их химическим составом.

Силумины подразделяют на двойные (простые) и специальные, в которых помимо кремния содержатся в небольшом количестве и другие легирующие элементы (медь, магний, марганец, никель). Структура простых силуминов определяется диаграммой состояния Al-Si. Кремний имеет переменную растворимость в алюминии (от 1,6 % до 0,1% при комнатной температуре), при содержании кремния 14% формируется эвтектика, состоящая из α -фазы - твердого раствора кремния в алюминии и игольчатых кристаллов кремния - β -фазы. Она имеет грубое строение, что дает низкие значения прочности и пластичности сплавов (при содержании кремния 12 % предел прочности примерно 80 МПа, относительное удлинение 2 %). Улучшить свойства термической обработкой не удастся, поскольку простые силумины относят к числу термически не упрочняемых сплавов. Для повышения свойств применяется модифицирование силуминов добавками натрия, лития, стронция. Часто вводят натрий в виде смеси солей $2/3 \text{ NaF} +$

1/3 NaCl в количестве примерно 2 %, чтобы в расплаве оказалось необходимых 0,01% Na (иногда его количество увеличивают до 0,08 %). Это приводит к резкому измельчению кристаллов эвтектического кремния, эвтектика становится мелкой, следствием чего является увеличение прочности и одновременно пластичности более чем в два раза. При этом понижается температура кристаллизации эвтектики более чем на 10 °С, и эвтектическая точка сдвигается в область меньших концентраций (11,6 % кремния). Поэтому эвтектический до модифицирования силумин приобретает после модифицирования структуру доэвтектического сплава со светлыми кристаллами первичного твердого раствора на темном фоне дисперсной эвтектики. Применяют модифицирование для сплавов с содержанием кремния более 6 %.

Маркируют силумины в соответствии со средним химическим составом. Из дополнительных легирующих элементов в силуминах наибольшее значение имеют магний и медь, введение которых делает сплавы термически упрочняемыми. Магний образует фазу Mg_2Si , а при введении одновременно меди и магния могут существовать упрочняющие фазы S (Al_2CuMg) и др.

Эвтектический силумин АК12, не упрочняемый термообработкой, не образует усадочной пористости, его рекомендуют применять для герметичных деталей приборов и агрегатов невысокой нагруженности. Однако образование концентрированных усадочных раковин вызывает трудности при отливке крупных и сложных по конфигурации деталей.

Примером доэвтектического силумина является более прочный термоупрочняемый сплав АК9ч. Для него применяют закалку от 530 °С с выдержкой 2-6 ч и охлаждением в горячей воде и старение при 175 °С в течение 15 ч (этот режим термообработки характерен для большинства специальных силуминов). Применяют его для наиболее ответственных нагруженных крупногабаритных деталей, например, картеров двигателей внутреннего сгорания.

Высоколегированный заэвтектический силумин АК21М2,5Н2,5 относят к группе поршневых сплавов (для изготовления поршней цилиндров двигателей внутреннего сгорания). В структуре этих сплавов присутствуют кристаллы первичного кремния на фоне эвтектики. Эти сплавы, предназначенные для работы при повышенных температурах 250-270°С, отличаются высокой жаропрочностью, износостойкостью и низким коэффициентом термического расширения.

Магний и его сплавы

Магний – металл с температурой плавления 650 °С, имеет гексагональную плотноупакованную решетку с соотношением с/а 1,6235. Плотность составляет 1,74 г/см³. Тепло- и электропроводность магния хуже, чем у алюминия. Поверхность магния покрыта толстой пленкой оксида, которая не обладает достаточными защитными свойствами. Магний легко

растворяется в органических и разбавленных минеральных кислотах, корродирует в морской воде, устойчив в органических жидкостях (бензин и т.д.). В дисперсном состоянии может самовоспламеняться на воздухе. Наиболее вредные примеси – железо, медь, никель, снижающие коррозионную стойкость, а железо – и без того невысокую пластичность. Технический магний (марки Мг96, Мг95, Мг90) имеет в деформированном и отожженном состоянии предел прочности 180 МПа. относительное удлинение от 15 % до 17 %. Как конструкционный материал в чистом виде не применяется.

Магниевые сплавы

Эти сплавы нашли применение в связи с малой плотностью (менее 2 г/см^3) и достаточно высокой удельной прочностью. Их делят на деформируемые (МА) и литейные (МЛ). Цифры в марке - условный порядковый номер. Легирующие элементы образуют с магнием твердые растворы ограниченной переменной концентрации и различные интерметаллиды. В сплавы невысокой и средней прочности входят алюминий, цинк, которые упрочняют раствор и делают возможной упрочняющую термообработку сплавов, а также марганец, устраняющий вредное влияние железа. Цирконий существенно (до 100 раз) измельчает зерно, поэтому присутствует в составе высокопрочных и жаропрочных сплавов. РЗМ и иттрий повышают жаропрочность сплавов. Могут дополнительно присутствовать литий, кадмий, серебро, индий, бериллий.

Магниевые сплавы подвергают гомогенизации при 400-490 °С в течение 10-24 ч, причем для деформируемых сплавов ее часто совмещают с их нагревом под обработку давлением, а высокопрочные сплавы закаливают от температур горячей деформации для сохранения эффекта наклепа. Рекристаллизационный отжиг проводят при 250-350 °С для устранения наклепа в деформированных заготовках. Особенности упрочняющей термической обработки магниевых сплавов объясняются малой скоростью диффузионных процессов в магнии. Выдержки при нагреве под закалку длительные (4-24 ч), охлаждение проводят на спокойном воздухе и иногда в кипящей воде. Старение применяют только искусственное (кроме сплавов с литием) продолжительностью 15-20 ч, в большинстве случаев выделяются сразу стабильные фазы (кроме сплавов с литием и неодимом). В сплавах с Al и Zn эффект упрочнения не превышает 30 %, а в сплавах с Nd и Li - более существенный.

Высокопрочный деформируемый сплав МА14 подвергают искусственному старению при 170°C в течение 10-24 ч после охлаждения от температур горячей деформации (режим Т5) . В структуре присутствуют дисперсные выделения фазы MgZn_2 на фоне α - твердого раствора на базе магния. Применяют этот сплав для изготовления высоконагруженных деталей, работающих до 250 °С.

Литейные магниевые сплавы по составам близки к деформируемым, уступая им по свойствам. Улучшение структуры и свойств достигается модифицированием, перегревом, повышением чистоты шихтовых материалов.

Широко применяется сплав МЛ5, в котором сочетаются высокие механические и технологические свойства. Для него применяют закалку на воздухе от температур гомогенизации 420 °С (12 - 14 ч) и последующее старение при 175 °С в течение 16 ч. Структура его состоит из твердого раствора легирующих элементов в магнии и выделений фазы Mg_4Al_3 . Применяют его для изготовления нагруженных деталей, работающих, в том числе и в морской атмосфере (картеры, коробки передач, масляные насосы, тормозные барабаны, кронштейны, штурвалы).

Сплав МЛ10 отличается высокими свойствами при комнатной температуре, высокой жаропрочностью и технологическими свойствами. Он может длительно работать при температурах 250-350 °С, кратковременно до 400 °С. Для сплава применяют закалку на воздухе от 540 °С 8-12 ч и старение при 205 °С в течение 12-15 ч. В структуре сплава кроме твердого раствора на основе магния присутствуют дисперсные выделения упрочняющей фазы Mg_9Nd . Применяют этот сплав для изготовления нагруженных деталей различных конструкций, двигателей, от которых требуется повышенная герметичность и стабильность размеров при высоких температурах.

Титан

Титан – металл серого цвета, с температурой плавления 1668 °С, имеет при комнатной температуре плотность 4,5 г/см³. Известны две полиморфные (аллотропические) модификации титана: до 882,5°С существует α -Тi с плотноупакованной гексагональной решеткой, а при более высоких температурах - β -Тi с объемноцентрированной кубической решеткой. Технически чистый титан производят марок ВТ1-00 (сумма примесей не более 0,1 %) и ВТ1-0 (сумма примесей не более 0,3 %). Предел прочности титана ВТ1-0 составляет 450-600 МПа, предел текучести 380-500 МПа, относительное удлинение 20-25 %. Присутствие в составе титана и его сплавов примесей азота, кислорода, углерода и особенно водорода значительно снижает пластичность (присутствие водорода вызывает так называемую водородную хрупкость, поэтому его количество не должно превышать 0,002-0,008%), коррозионную стойкость и технологические свойства титана. Аналогичным образом, но в меньшей степени, влияют на свойства железо и кремний. Титан хладостоек, характеризуется отличной коррозионной стойкостью в органических и большинстве минеральных кислот, простой и морской воде, хорошо деформируется и сваривается. При нагревании активно поглощает газы, применяется в качестве геттерного материала.

Сплавы на основе титана

Титановые сплавы по сравнению с титаном обладают более высокой прочностью и жаропрочностью при достаточно хорошей пластичности, коррозионной стойкости и невысокой плотности (не более 5,1 г/см³). Легирующие элементы в титановых сплавах принято делить на три группы: α -стабилизаторы повышают температуру полиморфного превращения α -Ti в β -Ti, к ним относят алюминий; β -стабилизаторы понижают температуру полиморфного превращения. К этой группе относятся изоморфные элементы V, Mo, Ta, Nb и эвтектоидообразующие, в числе которых переходные металлы Fe, Mn, Cr. Последние оказывают наиболее эффективное упрочняющее действие. Эвтектоидный распад вызывает резкое охрупчивание сплавов, поэтому его стараются избегать. Нейтральные добавки (Sn, Zr, Hf, Th) мало влияют на температуру полиморфного превращения, улучшают свойства сплавов при нормальных и повышенных температурах. Алюминий присутствует во всех сплавах, поскольку не только упрочняет α -фазу и снижает плотность сплава, но и повышает термическую стабильность β -фазы. По структуре в равновесном состоянии различают α -сплавы; псевдо- α -сплавы; ($\alpha + \beta$)-сплавы; β -сплавы; псевдо β -сплавы (α -фаза – твердый раствор замещения легирующих элементов в α -Ti, β -фаза – твердый раствор замещения легирующих элементов в β -Ti). β -сплавы не нашли широкого распространения.

Титановые сплавы маркируют условным образом.

В промышленности широко применяются деформируемые титановые сплавы, а также литейные и порошковые, которые в большинстве являются аналогами деформируемых сплавов по составу.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с методическим руководством.
2. Исследовать под микроскопом микроструктуры сплавов цветных металлов из лабораторной коллекции, определить структурные составляющие, используя фотоальбом и текст методического указания.
3. Ознакомиться по справочным данным с термической обработкой, свойствами и применением этих сплавов.
4. Оформить отчет, в котором схематично изобразить и описать микроструктуру каждого из изученных сплавов, привести данные по их химическому составу, режимам упрочняющей термообработки, свойствам и применению.

Контрольные вопросы

1. Какие группы медных сплавов вы знаете?
2. Какие легирующие элементы вводят в латуни? С какой целью?
3. В чем достоинства и недостатки оловянных бронз?
4. Какие бронзы заменяют оловянные?
5. Какова упрочняющая термическая обработка бериллиевой бронзы?

6. Какие группы алюминиевых сплавов вы знаете? К каким системам они относятся?
7. Из чего состоит упрочняющая термообработка алюминиевых сплавов?
8. Какие из литейных алюминиевых сплавов обладают лучшими литейными свойствами?
9. С какой целью и чем модифицируют силумины?
10. Каковы особенности упрочняющей термической обработки магниевых сплавов?
11. Какие группы легирующих элементов существуют в магниевых сплавах? Какое влияние на свойства они оказывают?
12. Какие группы легирующих добавок в титановых сплавах вы знаете?
13. Какова термическая обработка титановых сплавов?
14. Какие группы промышленных сплавов на основе титана вы знаете?
15. Что такое баббиты?
16. Какими свойствами обладают баббиты?
17. Какие баббиты вы знаете?

Лабораторная работа №7 «Исследование влияния скорости охлаждения на свойства сталей»

Цель работы: Цель работы состоит в изучение теории термической обработки и установления влияния вида термической обработки на твердость стали.

Приборы и материалы: образцы сталей, муфельная печь, закалочные среды.

Теоретическая часть

Термическая обработка стали – совокупность операций нагрева, выдержки и охлаждения, в результате которых меняется внутреннее строение и, соответственно, свойства стали.

Основные виды термической обработки: отжиг, нормализация, закалка, отпуск.

Отжиг стали – термическая обработка, применяемая с целью облегчения механической обработки или пластической деформации. Отжиг стали состоит из нагрева на 30-50 °С выше критической точки A_{C3} , выдержки, последующего медленного охлаждения с печью до 500-600 °С, а затем на воздухе.

Нормализация стали – термическая обработка, применяемая для уменьшения размера зерна и повышения механических свойств (главным образом) ударной вязкости, а также улучшения механической обрабатываемости.

Эти процессы термической обработки чаще всего применяются при обработке полуфабрикатов – сортового проката, штамповок, поковок или отливок. Нормализация заключается в нагреве доэвтектоидной стали до температуры, превышающей точку «А_{С₃» на 50 °С, заэвтектоидной выше «А_{с_т» на 50 °С, охлаждение на воздухе.}}

Закалка стали – нагрев стали на 30-50 °С выше «А_{С₃» для доэвтектоидных сталей или на 20-30 °С выше «А_{С₁» для заэвтектоидных сталей, выдержке при заданной температуре и быстром охлаждении. Для углеродистых сталей это охлаждение проводят чаще в воде. В основе закалки стали лежит превращение аустенита в мартенсит.}}

Отпуск стали заключается в нагреве закаленной стали до температуры ниже «А_{С₁», выдержке при заданной температуре и последующем охлаждении с определенной скоростью. Это окончательная операция термической обработки, в результате которой сталь получает требуемые механические свойства. Большинство конструкционных авиационных сталей проходит закалку и высокий отпуск, поскольку наряду с повышенной прочностью сталь приобретает повышенную пластичность и сопротивление динамическому удару.}

Так термическая обработка стали У12 – закалка 770°+отпуск 150-200 °С.

На рисунке 20 приведена часть диаграммы состояния сплавов Fe – С, относящаяся к области стали.

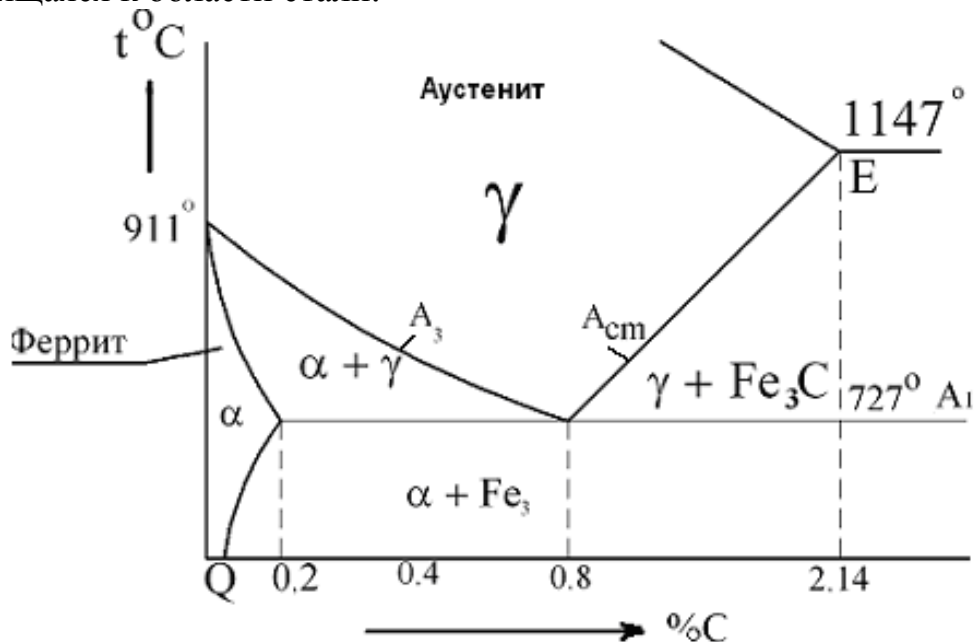


Рисунок 20 – Отрезок диаграммы состояния сплавов Fe-С

Согласно классификации видов термической обработки, термическая обработка углеродистой стали относится к случаю, когда она сопровождается фазовыми превращениями одновременно с полиморфными при наличии эвтектоидного превращения.

Критические точки, отвечающие температурам превращения, указаны на диаграмме: A_1 ($727\text{ }^\circ\text{C}$), A_3 (понижающаяся с увеличением содержания углерода от 0 % до 0,8 %С по линии GS A_{cm} (изменяющиеся по линии SE). Смещение критических точек A_1 и A_3 от равновесных температур, происходящее при нагреве и охлаждении стали в реальных условиях, принято обозначать AC_1 и AC_3 при нагреве Ar_1 и Ar_3 при охлаждении.

Превращение аустенита при различных скоростях охлаждения стали может быть рассмотрено с помощью диаграммы изотермического превращения аустенита или так называемых «С – кривых». Схема такой диаграммы для эвтектоидной углеродистой стали приведена на рисунок 21.

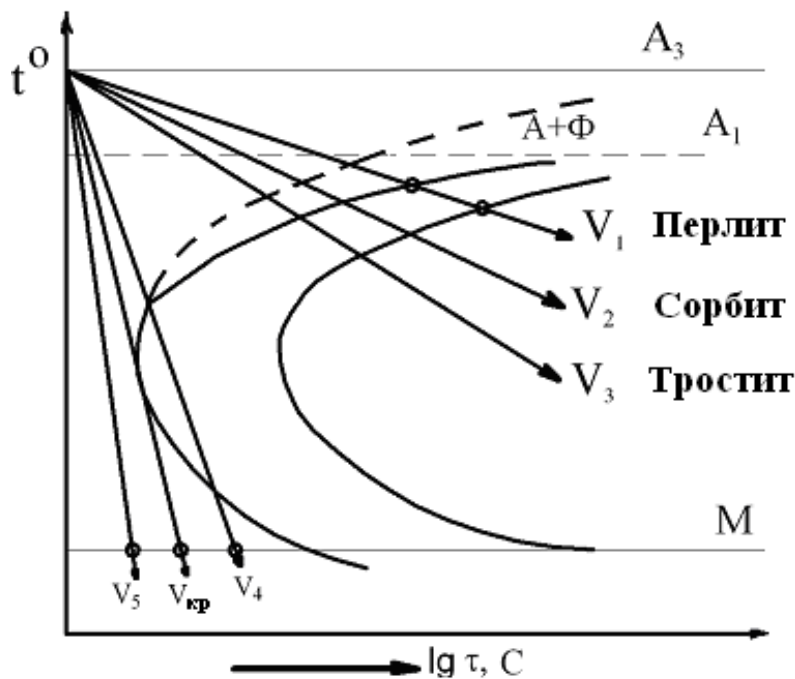


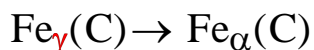
Рисунок 21 – Диаграмма превращения аустенита при различных скоростях

При медленном охлаждении стали (с печью) происходит близкое к равновесному состоянию превращение, сопровождаемое образованием перлита (кривая скорости охлаждения V_1). Такой вид обработки стали называется отжигом. Сталь приобретает пластичность и относительно низкую твердость ($HB = 150-180\text{ кг/мм}^2$). При охлаждении стали с высоких температур на воздухе (кривая скорости охлаждения V_2) аустенит также превращается в феррито-цементитную смесь, однако, она приобретает дисперсный характер. Такая дисперсная смесь называется сорбитом, а термическая обработка нормализацией. Сталь после нормализации приобретает более высокую твердость ($HB = 250-300\text{ кг/мм}^2$) и прочность. При охлаждении стали в струе сжатого воздуха охлаждение протекает ещё быстрее (скорость V_3) и феррито-цементитная смесь приобретает большую степень дисперсности. Образующаяся структура, в отличие от сорбита,

называется трооститом. Трооститная структура имеет более высокую твердость ($HV = 350-450 \text{ кг/мм}^2$), чем сорбитная. В практике термической обработки скорость охлаждения искусственно повышают, охлаждая сталь, например, в воде, в водных растворах солей или минеральном масле.

Вода является весьма энергичным охладителем, в результате чего сталь приобретает высокую твердость. Такая термическая обработка называется закалкой.

В основе закалики стали находится бездиффузионное превращение аустенита:



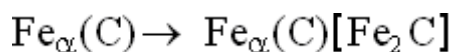
Фиксируемая при этом фаза, являющаяся пересыщенным твердым раствором внедрения углерода в $\alpha\text{-Fe}$, называется мартенситом, а приведенная реакция называется реакцией мартенситного превращения. Таким образом, мартенсит является структурой, характерной для закаленной стали. Твердость мартенсита в зависимости от концентрации углерода в стали изменяется от 250 до 650 кг/мм².

Скорость охлаждения, необходимая при закалики стали, должна быть не ниже $V_{кр}$ (рисунок 22). Мартенситное превращение происходит при температуре (M). Охлаждение со скоростью несколько ниже $V_{кр}$, например, в масле (кривая V_4) приводит к тому, что часть аустенита превращается в верхнем районе C кривых с образованием троостита, а другая его часть превращается при достижении температуры (M) – в мартенсит. В результате возникает троосто-мартенситная структура.

Отпуск стали.

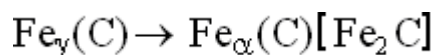
Метастабильное состояние, которое приобретает сталь после закалики, обусловлено образованием тетрагонального мартенсита. Возврат к состоянию, близкому к равновесному, производится путем нагрева закаленной стали, с помощью операции отпуска. Отпуском называется технологическая операция, при которой закаленная сталь нагревается до температуры не выше AC_1 с последующим охлаждением. При отпуске сталь становится менее твердой, но более пластичной.

Можно выделить следующие четыре типичных района превращения в закаленной стали при отпуске на различные температуры.



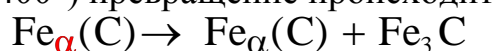
В первом районе при $t = 80-200 \text{ }^\circ\text{C}$ из мартенсита закалики постепенно выделяется углерод в виде карбида Fe_2C . Кристаллические решетки твердого раствора и карбида при этом когерентны. Выделение углерода приводит к уменьшению степени тетрагональности мартенсита до значения $\frac{c}{a}$, близкого к единице, в зонах сопряжения с пластинками выделившегося карбида. Более удаленные зоны твердого раствора имеют по-прежнему высокую

концентрацию углерода. Такой мартенсит называется отпущенным мартенситом, а самый отпуск – низким отпуском.



Для второго района (от 200 °С до 300 °С) характерно превращение остаточного аустенита в смесь двух фаз: отпущенного мартенсита (например, при $t = 300$ °С в твердом растворе стали с 1,2 % С содержится всего от 0,15 % до 0,20 % С) и карбида Fe_2C ; их кристаллические решетки когерентны. Второе превращение сопровождается одновременным распадом мартенсита, в результате которого образуется карбид Fe_3C (образование карбида может происходить также по реакции $\text{Fe}_2\text{C} \rightarrow \text{Fe}_3\text{C}$).

В третьем районе (300-400°) превращение происходит по реакции



Продуктами третьего района превращения являются феррит и цементит – две фазы, наблюдающиеся в микроструктуре стали. Это превращение сопровождается почти полным снятием у стали внутренних напряжений.

Четвертое превращение, происходящее при температуре выше 400 °С, состоит в коагуляции частиц феррита и цементита.

Указанные стадии превращения при отпуске обычно не происходят строго в пределах вышеуказанных температурных интервалов. Отдельные стадии превращений в известной мере накладываются друг на друга. Отпуск до 250 °С называется низким отпуском. Структурой низкого отпуска является отпущенный мартенсит. Отпуск стали при 350-500 °С называется средним отпуском, а при 500-600 °С – высоким отпуском. Структурой стали после среднего отпуска является тростит отпуска, тогда как структура стали после высокого отпуска состоит из сорбита отпуска. Термическая операция, состоящая из закалки стали и последующего высокого отпуска, называется улучшением. С увеличением температуры отпуска твердость и предел прочности падают, тогда как пластичность стали (δ, γ) увеличивается. Низким отпуском достигается снятие остаточных напряжений с закаленной стали, твердость при этом сохраняется высокой, а хрупкость уменьшается. Низкий отпуск применяется при термической обработке режущего, измерительного инструмента, шарикоподшипников, постоянных магнитов, деталей счетно-режущих устройств, работающих в условиях трения и т.д.

Средний отпуск применяют при обработке конструкционных сталей с целью придания им высокой прочности в сочетании с высокими упругими и вязкими свойствами. В частности, средний отпуск применяется при производстве пружин. Высокий отпуск применяют для конструкционных сталей, от которых требуется сочетание высокой пластичности и вязкости с повышенными характеристиками прочности и упругости.

Порядок выполнения:

Термической обработке подвергаются доэвтектоидная сталь 45 и заэвтектоидная У12А. Подлежащие исследованию образцы, выполненные в виде шайб (диаметр 15 мм, толщина 10 мм).

№ образцов	Марка стали	t° нагрева	Выдержка в печи, мин.	Среда охлаждения	отпуск		Твердость HRB HRC HB	микроструктура
					t°С	мин		
I	45	730	30	Вода	--			
2	45	770	30	- -	--			
3	45	850	30	- -	--			
4	45	850	30	Масло	--			
5	45	850	30	Воздух	--			
6	45	850	30	Вода	200	15		
7	45	850	30	- -	400	5		
8	45	850	30	- -	400	15		
9	45	850	30	- -	400	30		
10	45	850	30	- -	600	15		
11	У12А	770	30	Вода	--			
12	У12А	770	30	Масло	--			
13	У12А	770	30	Воздух	--			

В работе изучается влияние температуры нагрева (730, 770, 850 °С) стали 45 на твердость после закалки; влияние скорости охлаждения стали 45 и У12А на твердость, влияние температуры отпуска (200, 400, 600 °С) стали 45 на твердость.

Задание

1. Изучить диаграмму изотермического превращения аустенита.
2. Исследовать термическую обработку стали 45 и У12А согласно режимам, указанным в разделе «Выполнение работы».
3. Построить графики $HB = f(t_{зак})$ – для стали 45; $HB = f(v_{охл})$ для стали 45 и У12А (на одном графике); $HB = f(t_{отп})$ и $HB = f(\tau_{отп})$ при $t=400^\circ$ - для стали 45А.

Контрольные вопросы

- 1 Какие задачи выполняет термическая обработка?
- 2 Правила выбора температуры закалки для эвтектоидной и заэвтектоидной стали.
- 3 В чем состоят структурные превращения при термической обработке стали (закалка, отпуск)?
- 4 Что такое неполная и полная закалка стали?

5 В каких случаях применяется закалка в масле?

Лабораторная работа №8 «Изучение микроструктуры цементованной стали»

Цель работы: ознакомиться с процессом цементации и микроструктурой цементованного слоя.

Приборы и оборудование: металлографический микроскоп, образцы цементованных сталей.

Теоретическая часть

Цементацией (науглераживанием) называется химико-термическая обработка, заключающаяся в диффузионном насыщении углеродом поверхностного слоя детали путем нагрева ее без доступа воздуха в науглераживающей среде (карбюризаторе). Как правило, цементацию проводят при температурах выше точки AC_3 с выдержкой при этой температуре в течение определенного времени, зависящего от требуемой толщины цементованного слоя и марки цементируемой стали.

Наибольшее распространение получила цементация в твердой (древесный уголь) и газообразной (природный газ, метан и др.) средах. Науглераживание осуществляется атомарным углеродом, выделяющимся при диссоциации окиси углерода или других углеводородов, например, по следующим реакциям:

Атомарный углерод, взаимодействуя с нагретой до аустенитного состояния стали, диффундирует в глубь поверхностного слоя и растворяется в γ – железе. Так как γ – железо обладает способностью растворять значительное количество углерода (до 2,0 %), цементация проводится при температуре выше AC_3 (920 – 950 °С). Массовая доля углерода в поверхностном слое определяется пределом растворимости углерода в аустените (т.е. линией SE диаграммы Fe – Fe₃C) (рисунок 22 а). При температуре цементации диффузионный слой состоит только из аустенита, а после медленного охлаждения – из продуктов его распада: феррита и цементита. Концентрация углерода при этом обычно не достигает предела насыщения (C_{max}) при данной температуре.

Цементованный слой имеет переменную концентрацию углерода по глубине, убывающую от поверхности к сердцевине детали (рисунок 22 б). В связи с этим после медленного охлаждения в структуре цементованного слоя можно различить (от поверхности к сердцевине) три зоны: (1) заэвтектоидную, состоящую из перлита и вторичного цементита, последний образует сетку по бывшему зерну аустенита; (2) эвтектоидную, состоящую из пластинчатого перлита; (3) доэвтектоидную, состоящую из перлита и феррита (рисунок 22 в). Ближе к сердцевине изделия содержание углерода снижается,

а, следовательно, в структуре стали уменьшается количество перлита и увеличивается количество феррита.

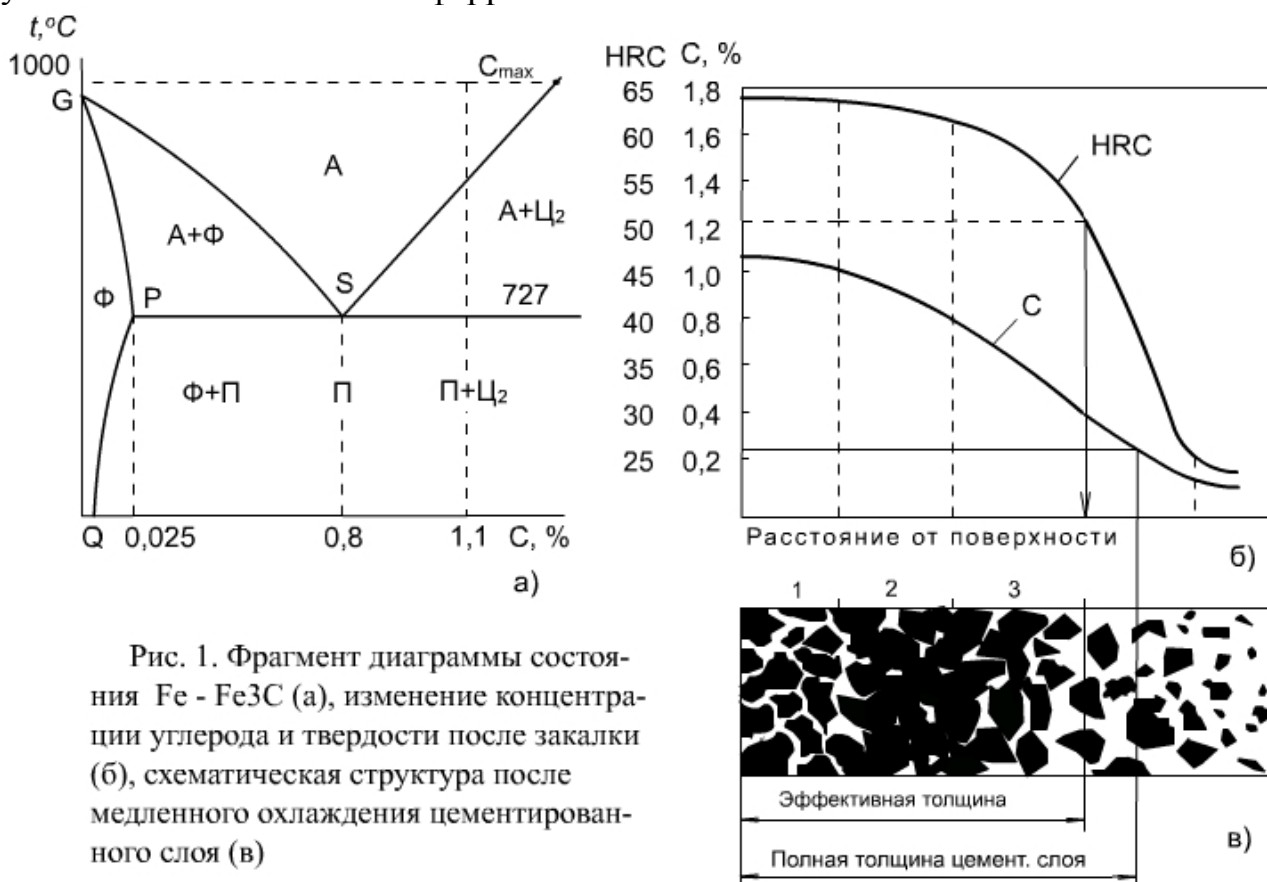


Рис. 1. Фрагмент диаграммы состояния Fe - Fe₃C (а), изменение концентрации углерода и твердости после закалки (б), схематическая структура после медленного охлаждения цементированного слоя (в)

Рисунок 22 – Фрагмент диаграммы состояния Fe-Fe₃C (а), изменение концентрации углерода и твердости после закалки (б), схематическая структура после медленного охлаждения цементованного слоя (в)

Поверхностный слой имеет лучшие свойства при содержании углерода в пределах 0,9 – 1,1 %. При более высоком содержании углерода он становится излишне хрупким, при меньшем содержании высокая твердость после закалки не достигается.

Различают полную и эффективную толщину цементованного слоя. Под полной толщиной понимают всю толщину, в пределах которой содержание углерода уменьшается от максимального на поверхности до исходного в сердцевине.

Практическое значение имеет эффективная (техническая) толщина, за которую принимают расстояние в мм от поверхности до того места, в котором массовая доля углерода равна 0,4 %. На изображенной схеме структурных зон эффективной толщине цементованного слоя соответствует расстояние от поверхности до места, в котором структура состоит из 50 % перлита и 50 % феррита и имеющего твердость после термообработки HRC 50. Эффективная толщина цементованного слоя обычно составляет от 0,5 до 1,8 мм.

Цементацией достигается лишь выгодное распределение углерода по сечению детали. Окончательные свойства цементованных деталей получают в результате термической обработки, состоящей из закалки и низкого отпуска. Структура цементованного слоя, состоящая из мелкоиглочатого мартенсита отпуска, должна обеспечивать поверхностную твердость от 59 до 62 HRC.

Назначение цементации и последующей термической обработки – получение высокой твердости и износостойкости поверхностного слоя при сохранении вязкой, хорошо выдерживающей динамические нагрузки сердцевины. Цементации подвергают детали, изготовленные из низкоуглеродистой (от 0,1 % до 0,25 %), чаще легированной стали, такие как шестерни, поршневые пальцы, шейки валов и осей, измерительный инструмент и др. Выбор таких сталей необходим для того, чтобы сердцевина изделия, не насыщаясь углеродом при цементации, сохраняла высокую вязкость после закалки.

Определение толщины цементованного слоя

Толщину цементованного слоя определяют с помощью макро – и микроанализа, а также измерением твердости. Макроанализ позволяет быстро определить толщину с точностью, достаточной для производственных условий. Для этого цементованный образец погружают на 1 – 2 мин. в реактив состава: 2 г $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и 1 мл HCl на 100 мл спирта. Мягкая нецементованная сердцевина покрывается красным налетом меди, а науглероженный слой не изменяется. Толщина слоя измеряется при помощи лупы или отсчетного микроскопа.

Цементованный слой можно также выявить раствором гипосульфита на шлифованной поверхности металла. В результате этого взаимодействия зерна феррита покрываются темной пленкой сернистого железа, а высокоуглеродистая цементованная полоса остается светлой.

Порядок выполнения работы

1. Рассмотреть в микроскоп готовые микрошлифы, сравнить с фотографиями микроструктур.
2. Зарисовать микроструктуры до и после термической обработки, выделить и описать различные зоны. Показать на рисунке толщину цементации.

Контрольные вопросы

- 1 Что называется цементацией?
- 2 Для чего применяется цементация?
- 3 Какие стали подвергают цементации?
- 4 В какой среде производится науглераживание?
- 5 Почему цементация проводится при температуре выше A_{C_3} ?
- 6 Какие зоны различаются в структуре цементованного слоя?

7 Какое оптимальное содержание углерода в поверхностном слое цементованной стали?

8 Что называется эффективной толщиной цементованного слоя?

9 Какая термическая обработка проводится после цементации и ее назначение.

Список использованной литературы

1. Богодухов С.И. Курс материаловедения в вопросах и ответах: Учеб. пособие для ВУЗов / С.И. Богодухов, В.Ф. Гребенюк, А.В. Синюхин. – М.: Машиностроение, 2003. – 255с.
2. Дриц М.Е., Москалев М.А. Технология конструкционных материалов и материаловедение: Учеб. для студентов немашиностроительных спец. ВУЗов. – М.: Высшая школа, 1990. – 446с.
3. Колесов С.Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов: Учебник для студентов ВУЗов / С.Н. Колесов, И.С. Колесов. – М. Высшая школа, 2004. – 518с.
4. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.Н. Материаловедение. Учебник для ВУЗов технич. спец. – 3-е изд. – М. Машиностроение, 1990. – 528с.
5. Солнцев Ю.П. Материаловедение и технология конструкционных материалов. Учебник для ВУЗов / Ю.П. Солнцев, В.А. Веселов, В.П. Демьянцевич, А.В. Кузин, Д.И. Чашников. – 2-е изд., перер., доп. – М. МИСИС, 1996. – 576с.
6. Фетисов Г.П. Материаловедение и технология металлов: Учебник для ВУЗов / Г.П. Фетисов, М.Г. Карпман, В.М. Матюнин и др. – М.: Высшая школа, 2000. – 637с.
7. Чередниченко В.С. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учебное пособие для студентов ВУЗов / А.В. Шишкин и др.; под ред. В.С. Чередниченко. – 3-е изд., стер. – М.: ОМЕГА-Л, 2007. – 751с.
8. Арзамасов Б.Н. Материаловедение: Учебник для ВУЗов / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин и др. – 5-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 646с.
9. Соколов Д.М. Технология конструкционных материалов. Учебник для студентов ВУЗов в 4 ч. Под ред. Д.М. Соколова, С.А. Васина, Г.Г. Дубенского. – Тула. Изд-во ТулГУ. – 2007.
10. Дальский А.М. Технология конструкционных материалов: Учебник для студентов машиностроительных ВУЗов / А.М. Дальский, Т.М. Барсукова, Л.Н. Бухаркин и др.; Под общ. ред. А.М. Дальского. – 5-е изд., испр. – М. Машиностроение, 2003. - 511с.

Составитель: старший преподаватель Хрисониди В.А.

Материаловедение и технология конструкционных материалов

Методические указания по выполнению лабораторных работ
для студентов всех форм обучения направлений подготовки
21.03.01 – Нефтегазовое дело, 23.03.01 – Технология транспортных
процессов и специальности 20.05.01 – Пожарная безопасность

Редактор В.А. Хрисониди

Компьютерная верстка В.А. Хрисониди

Подписано в печать

Бумага высшая №1

Печ.л.

Усл.печ.л.

Уч.-изд. л.

Формат 60x84/16

Изд. №

Тираж экз.

Заказ №

Издательство: филиал МГТУ в пос. Яблоновском, 385140, Республика
Адыгея, пос. Яблоновский, ул. Связи 11, корп. 2, ауд. 32.