

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания
по выполнению лабораторных работ по дисциплине
«Материаловедение»
для студентов направления подготовки
21.03.02 Землеустройство и кадастры/«Городской кадастр»

Ставрополь, 2026

Оглавление

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ	4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1 ИЗУЧЕНИЕ ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПРОДУКТОВ ДОМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА	5
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ...	11
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 ИЗУЧЕНИЕ МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОГО МИКРОСКОПА	17
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 АНАЛИЗ МИКРОСТРУКТУРЫ СПЛАВОВ	26
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5	34
АНАЛИЗ МАКРОСТРУКТУРЫ СПЛАВОВ	34
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6 ИЗМЕРЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОВ.....	41
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКИХ ТОЧЕК И ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММ СОСТОЯНИЯ МЕТОДОМ ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА (На примере диаграммы "олово-свинец")	53
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8 ИЗУЧЕНИЕ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗО-ЦЕМЕНТИТ	61
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9 АНАЛИЗ МИКРОСТРУКТУРЫ ЧУГУНОВ.....	75
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №10 ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОКА СТАЛЕЙ И ИХ МИКРОСТРУКТУРА ПОСЛЕ ТЕРМООБРАБОТКИ	88
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №11 ИЗУЧЕНИЕ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ (ЦЕМЕНТАЦИЯ В ТВЕРДОМ КАРБИДИЗАТОРЕ)	97
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №12 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОКАЛИВАЕМОСТИ СТАЛИ	101

Целью настоящих методических указаний является развитие навыков самостоятельной работы и научных исследований при проведении лабораторных работ по курсу материаловедения. Самостоятельное выполнение студентом предлагаемых работ будет способствовать более глубокому изучению курса и позволит в дальнейшем применять указанные положения в условиях производства. Данный курс формирует следующие компетенции:

ОПК-1 - способен решать задачи профессиональной деятельности, применяя методы моделирования, математического анализа, естественнонаучные и общетехнические знания.

Описание лабораторных работ выполнено по единой схеме: а) цель работы; б) задание; в) оборудование и материалы; г) основные положения; д) порядок выполнения; е) вопросы для самопроверки.

Перед тем, как приступить к работе, студенты по этому пособию знакомятся с содержанием лабораторной работы, т.е. с элементами теории, с оборудованием и аппаратурой, необходимыми для её выполнения. Основные положения отражаются в лабораторных журналах.

Задание по работе студенту выдает преподаватель. После объяснения преподавателем основных положений и порядка выполнения работы студент приступает к её выполнению. Сведения, изложенные в указаниях, обеспечивают возможность самостоятельно выполнять задания на достаточно высоком научном уровне. Преподаватель консультирует студентов по вопросам, возникшим в ходе выполнения работ, и принимает зачет по работе, выполненной на предыдущем занятии.

Работы поставлены таким образом, что в ходе их выполнения студент проводит полное исследование образца, стали, изучая его твердость, микроструктуру до и после термической обработки и др. свойства, что соответствует требованиям учебно-исследовательской работы студентов (УИРС).

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Ряд работ по металловедению требует неукоснительного соблюдения правил техники безопасности.

При проведении лабораторных работ, связанных с применением нагревательных печей, необходимо проверить исправность токоведущих частей. Любые электрические печи должны быть надежно заземлены и изолированы. При загрузке, разгрузке (а также при очистке и ремонте) печей ток должен быть выключен. Загрузка и разгрузка деталей (образцов) должна проводиться исправным инструментом (клещами), приспособленным для этой цели.

Особой осторожности требует использование полировального и заточного станка при проведении лабораторных работ, связанных с изготовлением макро- и микрошлифов.

При работе на заточном станке надо проверить правильность установки подручника. Он должен находиться на расстоянии 1-2 мм от заточного круга. Обрабатываемую деталь подводить к заточному кругу следует осторожно, опирая ее о подручник, надежно удерживая в руках. Для предохранения глаз от засорения необходимо надевать защитные очки. Они всегда должны находиться возле станка. Кроме того, неогражденную часть станка необходимо прикрывать поворотным экраном, небьющимся или толстым (5-6 мм) стеклом.

Очень внимательно надо работать на полировальном станке. Операции по приготовлению шлифов следует проводить в вентилируемом помещении. Глаза должны быть защищены очками с сеткой. При механической шлифовке и полировке шлиф следует крепко держать в руке. Полируемая плоскость шлифа должна все время удерживаться строго параллельно вращающемуся кругу без изменения усилия прижима (которое должно быть незначительным). Кроме работающего студента у полировального станка никого не должно быть. Надорванную ткань, которой обтянут круг, надо немедленно заменить.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ИЗУЧЕНИЕ ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПРОДУКТОВ ДОМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Цель работы: Научить студентов определять по внешнему виду наименование руды, топлива, огнеупоров, флюсов и продуктов доменного производства, познакомить с основными разновидностями прокатных профилей.

Задание: изучить образцы руд, топлива, огнеупоров, флюсов и продуктов доменного производства. Дать описание их цвета, внешнего вида и применения в краткой форме. Зарисовать по 1-2 вида прокатных профилей из каждой группы сортамента проката.

Оборудование и материалы:

1) коллекции руд и чугунов; 2) стенд огнеупорных материалов; 3) стенд сортамента проката.

Основные положения:

Металлы в рудах находятся в виде окислов, углекислых, сернистых и других химических соединений. В рудах находится пустая порода в виде кремнезема, глинозема, известняка и т.п.

Извлечение металла из руд сводится к восстановлению металла из его химических соединений и отделению его от пустой породы.

К исходным и вспомогательным материалам доменного производства относятся руды, флюсы, топливо и огнеупорные материалы.

1. Руды черных металлов.

Бурый железняк - лимонит (от греческого "леймон" - луг), представляет водную окись железа $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Руда легко восстанавливается, но обладает низкой механической прочностью. Содержит 20-60% Fe. Месторождения: Керченское, Аятское, Лисаковское и др.

Красный железняк - гематит (от греческого "гема" - крозь). Химический состав: Fe_2O_3 . Руда более чистая по содержанию вредных примесей (P, S) хорошо восстанавливается. Содержит до 60% Fe. Месторождения: Кривой Рог, Курская магнитная аномалия, Урал и др.

Магнитный железняк - магнетит. Железо находится в виде магнитной окиси $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, обладающей слабوماгнитными свойствами. Это высококачественная руда, но восстанавливается с трудом; Содержание железа в руде 35...60%, встречаются руда, содержащие до 72% Fe. Месторождения: Казахская ССР, горская магнитная аномалия и др.

Озерная бобовая железная руда - разновидность бурого железняка (лимонита). Химический состав: $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Руда имеет часто гороховидную или бобовидную структуру и образуется на дне озер и болот в результате жизнедеятельности железобактерий. Месторождения: Карело-финская ССР, Северо-Запад СССР и др.

Хромистый железняк - хромит. Химический состав: $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$. Применяется для получения хрома, а также в качестве огнеупорного материала. Месторождения: Урал, Кавказ, Казахская ССР и др.

Марганцевая руда - пиролюзит (от греческого "тор" - огонь и "ляо" - мою). Химический состав: MnO_2 , Mn_2O_3 и т.п. Образуется из водных растворов прибрежной зоны в результате жизнедеятельности микроорганизмов. Руды содержат 22...45% марганца.

Месторождения: Никопольское (Украина), Полуночное (Свердловская обл), Дзержинское (Казахская ССР). Важное месторождение (до 55% Mn) Чиатурское (Грузия).

2. Руды цветных металлов.

Свинцово-цинковые руды - галенит (от латинского "гален" - свинец) и сфалерит (от латинского "сфалерое" - обманчивый). Химический состав галенита (свинцовый блеск) - PbS , сфалерита (цинковая обманка) - ZnS . Цвет галенита - серовато-черный, асфалерита - бурый или желтый. Галенит и сфалерит встречаются в полиметаллических месторождениях. Применение: важнейшая руда для получения свинца и цинка; используется для производства красок (белил). Месторождения: Алтай, Казахская ССР, Восточно-забайкальское, Дальний Восток, Средняя Азия, Северный Кавказ и др.

Никелевая руда - гарниерит. Химический состав: $(NiMg)_6(OH)_6(Si_4O_{11}) \cdot H_2O$, содержание никеля от 15 до 46%. Встречается в виде землистых масс и натеков. Месторождения: Средний и Южный Урал и др.

Медный колчедан - халькопирит (от греческого "халькос" – медь и "пюр" - огонь). Химический состав: $CuFeS_2$; содержит 35% меди, 35% серы и 30% железа. Часто содержит примеси Доломита и серебра. Месторождения: Средний и Южный Урал, Кавказ, Алтай, Казахская ССР.

Медная руда - малахит. Химический состав: $CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$. Хорошо шлифуется и полируется. Применение: получение меди, производство зеленых красок, в качестве поделочного камня. Месторождение: Урал.

Алюминиевая руда - боксит, название происходит от провинции Бо во Франции. Химический состав: $Al_2O_3 \cdot n H_2O$. Встречается в виде землистых плотных масс. В боксите содержится 30...55% Al_2O_3 . Месторождения: Северный Урал, Тихвинский район (Ленинградская область) и др.

Алюминиевая руда - нефелин (от греческого "нефелос" - облако; при действии кислот дает облаковидный кремнезем). Химический состав: $(Na, K) \cdot [AlSiO_4]$. Применяется для получения алюминия, а также в стекольной и химической промышленности.

Мышьяковая руда - арсенопирит.

Вольфрамовая руда - вольфрамит.

Ртутная руда - киноварь.

3. Топливо.

При горении топлива развиваются высокие температуры, необходимые для восстановления руды, плавления и перегрева чугуна и шлака.

Часть находящегося в топливе углерода принимает непосредственное участие в реакциях восстановления руды. Топливо должно иметь высокую теплотворную способность и содержать мало золы и вредных примесей. Оно бывает твердое, жидкое и газообразное, а также естественное и искусственное.

Естественное топливо.

Дрова применяются для сушки ковшей, и розжига металлургических печей, производства древесного угля и генераторного газа. Теплотворная способность воздушно-сухих дров - $Q=2000-3000$ ккал/кг. Зольность - 1%. Вредных примесей не содержат.

Торф применяется для производства торфяного кокса, осветительных и смазочных масел, парафина и др. Теплотворная способность торфа - $Q=3000-3500$ ккал/кг. К недостаткам торфа следует отнести его нетранспортабельность.

Горючий сланец - бурая, иногда почти черная, глинистая порода, залегает пластами среди других осадочных пород. Содержит до 80% органических веществ. Применение: ценная газовая руда, топливо, получение парафина; керосина, бензина, смазочных масел и других продуктов перегонки, зола используется для производства цемента, кирпича и черепицы. Месторождения: Печерский край, Поволжье, Эстонская ССР.

Каменный уголь - встречается самых различных сортов. Разновидности каменных углей – антрациты - применяются для тех же целей, что и каменные угли, но также и для плавки в вагранках, заменяя полностью или частично кокс. Некоторые сорта применяются для производства кокса и генераторного газа. Теплотворная способность каменных углей и антрацитов колеблется от 6500 до 8500 ккал/кг, зольность - 4,5-10%, содержание серы - 0,4-2,5%. Марки каменных углей: АРШ, АШ, АК, АО АС, АЗ. Месторождения: Донецкий, Кузнецкий и Карагандинский бассейны, а также и др.

Искусственное топливо

Древесный уголь выжигается в печах при сухой перегонке без доступа воздуха при температуре 400-500°C. В древесном угле 0,05-0,15% серы, 1-3% неорганических соединений. Теплотворная способность – 7000-8000 ккал/кг.

Кокс - продукт сухой перегонки коксующихся углей в специальных коксовых печах без доступа воздуха при температуре 900-1050°C. Он может быть получен только из коксующихся углей, содержащих не менее 18-26% летучих веществ. Теплотворная способность кокса – 6000-7000 ккал/кг, золы – 10-15%, серы 0,5-2,0%. Лучшим является кокс, полученный из Кузнецкого бассейна - серы в нем 0,5-0,6%, золы – 12-13,5%.

Жидкое топливо

Жидкое топливо - нефть - представляет собой маслянистую жидкость темно-бурого цвета. К жидкому топливу также относятся продукты из нефти. Теплотворная способность нефти 10000-11000 ккал/кг.

4. Флюсы.

Флюсы служат для понижения температуры плавления и перевода пустой породы, золы, оплавившейся огнеупорной футеровки печи и других неметаллических примесей в жидкий шлак.

Флюсы делятся в зависимости от состава пустой породы на основные, кислые, нейтральные.

Основные флюсы главным образом состоят из извести, доломита, кислые флюсы - из кремнезема, нейтральные флюсы - из смеси, глинозема (Al_2O_3) с кремнеземом (SiO_2). Необходимое количество флюсов добавляется в шахту доменной печи.

Когда же применяется кислый, а когда основной флюс?

В большинстве случаев пустая порода руды и зола кокса содержат избыток кремнезема. Для получения легкоплавкого шлака добавляют основной флюс - известняк ($CaCO_3$) или доломит $CaCO_3 \cdot MgCO_3$. Если же в рудах мало кремнезема или пустая порода известковая, то в качестве флюса вводят кварц (SiO_2) или песчанник, богатый SiO_2 .

5. Огнеупорные материалы и изделия.

Огнеупорные материалы служат для внутренней кладки металлургических печей, для футеровки сталеразливочных и чугуновозных ковшей, воздухонагревателей, генераторов и рекуператоров, нагревательных печей и других устройств.

Огнеупорные материалы должны выдерживать высокие температуры, обладать достаточной механической прочностью в нагретом состоянии, сопротивляться химическому

воздействию жидкого шлака, металла и газов, обладать постоянством объема и иметь определенную пористость.

По видам огнеупорные материалы разделяются на порошки, кирпичи и фасонные огнеупорные изделия.

По химическим свойствам огнеупорные материалы разделяются на несколько основных групп: кислые, основные, нейтральные и углеродосодержащие.

К кислым огнеупорам относится динасовый кирпич. Температура его плавления 1630-1730°C. Динасовый кирпич применяют для кладки печей при кислом процессе.

К основным огнеупорам относят магнезит и доломит. Температура плавления магнезитового кирпича 2000°C. Он применяется при кладке подов и стен сталеплавильных печей. Доломит используют в металлургической промышленности в виде порошков для наварки пода в сталеплавильных печах и ремонта. Огнеупорность доломита 1800-1950°C. Для повышения термической стойкости основных материалов в современной практике применяют хромомagneзитовый кирпич. Температура плавления его более 2000°C.

К нейтральным огнеупорам относят хромистый кирпич, шамотные огнеупорные изделия и углеродосодержащие огнеупоры. Температура плавления хромистого кирпича 2000°C, шамота – 1580-1730°C. Шамот - обожженная огнеупорная глина. Она может обладать слабокислыми и слабоосновными свойствами, это самый дешевый и доступный материал. Его применяют в доменных печах, вагранках, воздухонагревателях доменных печей, мартеновских печах и т.д. Углеродосодержащие огнеупорные материалы находят в технике довольно широкое распространение, так как на них не действуют щелочи и кислоты. В составе этих огнеупоров содержится до 90% углерода и 10% огнеупорной глины. Из них изготавливают угольные и графитные электроды для дуговых печей, тигли для плавки металла.

6. Продукты доменного производства.

Продуктами доменного производства являются чугун, шлак, колошниковый газ, колошниковая пыль.

Чугуны, выплавляемые в доменных печах, классифицируются следующим образом: 1) литейные (серые чугуны; 2) пердеельные (белые) чугуны; 3) специальные чугуны (ферросплавы).

Литейные чугуны характерны повышенным содержанием кремния и тем, что углерод в них, в основном, находится в свободном состоянии в виде графита. В изломе они имеют серый цвет. Серые чугуны обладают хорошими литейными свойствами и являются основными материалами при производстве чугунных отливок. Важной составляющей литейных чугунов является кремний. По содержанию кремния они распределяются на шесть марок (ЛК-0; ЛК-1 и до ЛК-5). Литейный древесноугольный чугун выплавляется трех марок (ЛД-1; ЛД-2.; ЛД-3).

Пердеельные чугуны характерны тем, что углерод в них находится в химически связанном состоянии с железом в виде карбида железа (цементит Fe_3C) и имеют светлый излом. Они применяются для производства стали, и поэтому называются пердеельными.

Ферросплавы отличаются от обычного чугуна повышенным содержанием кремния и марганца. Ферросилиций содержит более 9-12% кремния и до 3% марганца, ферромарганец - более 70-75% марганца и до 25% кремния. Зеркальный чугун (имеет в изломе зеркальный блеск и маркируется ЗЧ1, ЗЧ2, ЗЧ3) содержит 10-25% марганца.

Доменные шлаки бывают основные и кислые. Основные шлаки используют для производства цемента, кирпичей, гравия. Из КИСЛЫХ шлаков изготавливают шлаковую вату для теплоизоляции.

7. Сортамент проката.

Форма поперечного сечения прокатанного изделия называется его профилем. Совокупность различных профилей разных размеров, получаемая прокаткой, называется сортаментом. Сортамент стального проката подразделяется на пять основных групп: сортовой, листовой, трубный, периодический, специальный (см.рис.1)

Профили сортового проката подразделяются на две подгруппы: профили простой геометрической формы (квадрат, круг, шестигранник, полоса и т.д.); фасонные профили, которые в свою очередь можно подразделить на фасонные профили общего и специального назначения.

Листовой прокат бывает тонколистовой и толстолистовой. Толстолистовая сталь имеет ширину 600-3000 мм и более при толщине 4-50 мм, а в особых случаях (судовая броня) до 500-550 мм и более. Тонколистовая сталь бывает горячекатанная (толщиной 0,5-4 мм и шириной 600-1400 мм) и холоднокатанная (толщиной 0,2-4 мм).

Трубный стальной прокат делится на бесшовные трубы с наружным диаметром 5-426 мм при толщине стенок 0,5-40 мм и трубы сварные с наружным диаметром до 1420 и даже до 2500 мм при толщине стенок до 14 мм и более.

Периодический прокат-это фасонная заготовка, изготавливаемая для последующей штамповки, иногда для последующей механической обработки. Сущность в том, что поперечное сечение не является одинаковым по форме и площади, а периодически меняется. К периодическому прокату, например, относится арматурная сталь, применяемая при производстве железобетонных изделий.

В качестве примера специального проката можно указать колеса, бондажи, зубчатые колеса и т.п.

Порядок выполнения работы:

1. Кратко описать внешний вид, цвет руд, топлива и чугунов.
2. Определить, к каким группам и подгруппам относятся виды проката, имеющиеся на стенде. Зарисовать их и описать.
3. Изучить образцы, представленные на других стендах

Вопросы для самопроверки:

1. В каких соединениях находятся руды черных металлов?
2. Какие виды металлургического топлива обладают наивысшей теплотворной способностью?
3. Как различаются огнеупорные материалы и флюсы по химическим свойствам? В каком случае применяют кислые флюсы?
4. Что относится к исходным материалам доменного производства, а что к продуктам?
5. В каком случае применяется в качестве флюса известняк, а в каком кварцевый песок?
6. В чем различие между серыми и белыми чугунами?
7. Какие пять групп проката применяются в производстве?

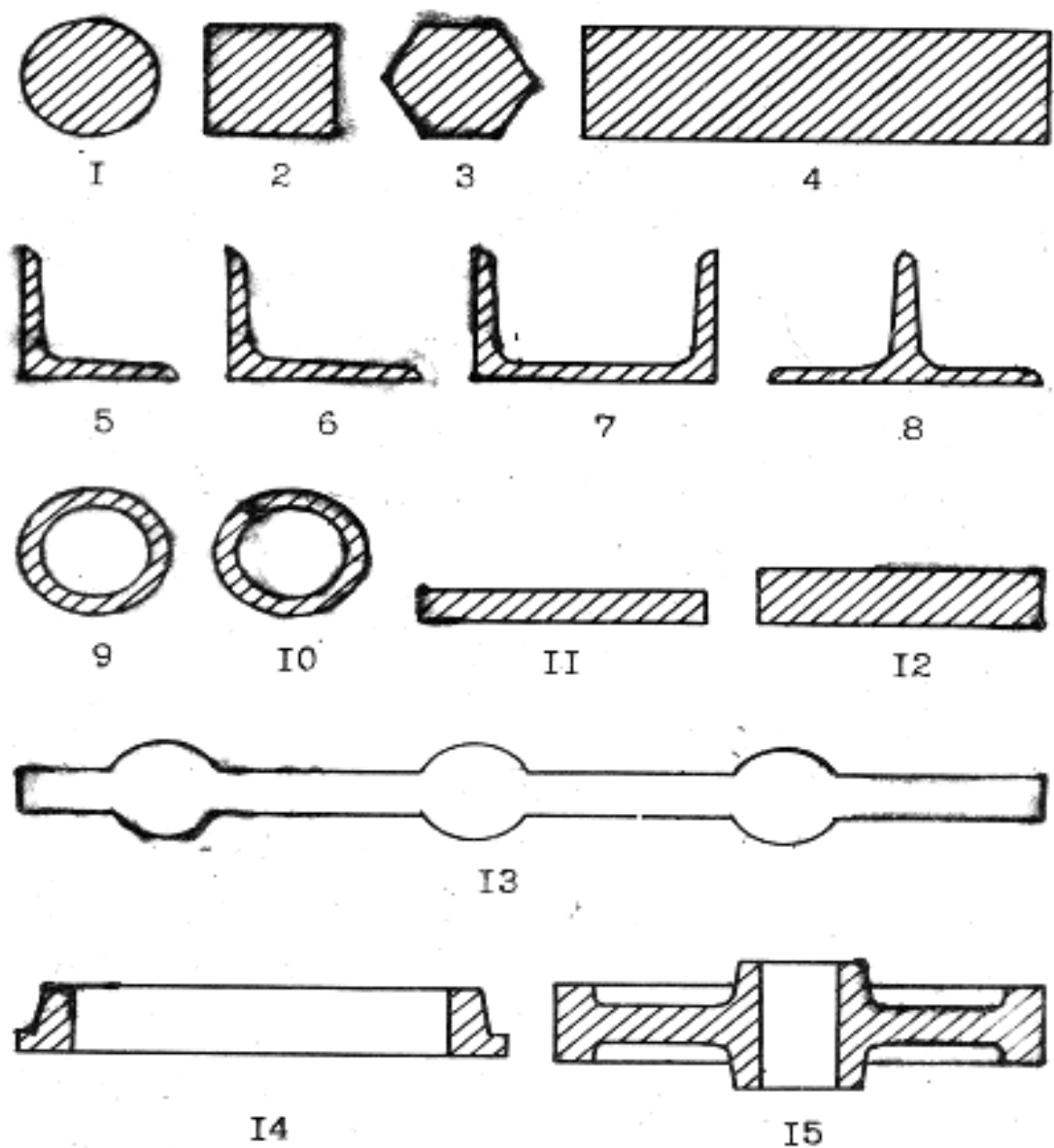


Рис.1. Сортамент проката: 1...8 – сортовой; 9,10 – трубный; 11...12 – листовой; 13 – периодический; 14,15 – специальный.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Цель работы: Изучение процесса кристаллизации из жидкого состояния в твердое.

Задание: Изучить процесс кристаллизации на примерах насыщенных растворов солей: азотнокислого свинца $Pb(NO_3)_2$, хлористого аммония NH_4Cl и калия двуххромокислого (хромпика) $K_2Cr_2O_7$.

Оборудование и материалы:

1) биологический микроскоп; 2) растворы вышеназванных солей (или других); 3) электроплитка; 4) предметные стекла.

Основные положения:

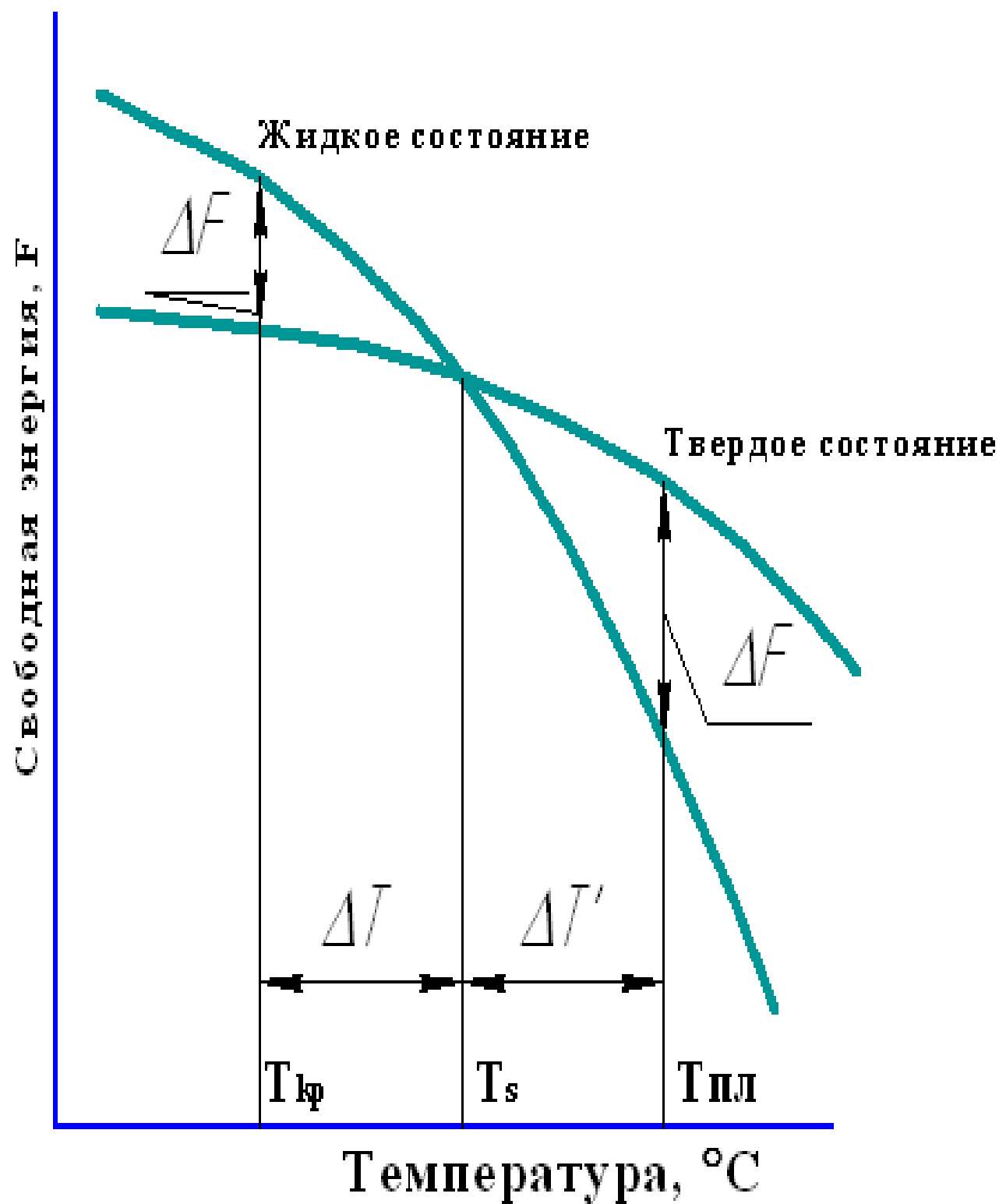
Кристаллизацией называется процесс образования кристаллов как из жидкой фазы (первичная кристаллизация), так и из твердой фазы (вторичная кристаллизация).

Твердое состояние кристаллических тел, в том числе металлов, характеризуется геометрически правильным расположением в них атомов. В жидкости частично сохраняется только «ближний порядок» в расположении атомов, характеризующий правильность расположения мелких групп атомов.

Кристаллы (зерна), из которых состоят металлы, характеризуются анизотропией свойств, т.е. физические свойства в кристалле различны по различным направлениям, в то время как в аморфных телах (стекло, канифоль и т.п.), которые являются изотропными, свойства не зависят от направления. При плавлении металлов происходит разрушение так называемой кристаллической решетки, представляющей собой совокупность закономерно расположенных атомов в металле, а при кристаллизации – образование кристаллической решетки.

Для развития процесса кристаллизации необходимо создать такие условия, при которых свободная энергия твердой фазы будет меньше, чем свободная энергия жидкой фазы. Как видно из рисунка 2 это возможно только при некотором переохлаждении сплава. Степенью переохлаждения ΔT , называется разность между равновесной (теоретической) T_s и фактической температурой кристаллизации $T_{кр}$:

$$\Delta T = T_s - T_{кр}$$



Где T_s - равновесная температура;
 $T_{кр}$ - фактическая температура.

Первым описал процесс кристаллизации стали из жидкой фазы Д.К.Чернов в 1878 году. Д.К.Чернов указал, что кристаллизация складывается из двух элементарных процессов. Первый - зарождение в жидкости мельчайших кристаллических частиц (зародышей) или, как их называют, центров кристаллизации. Второй - рост центров кристаллизации.

Позднее установлено, что при данной величине переохлаждения число возникающих зародышей (Ч.З.) и скорость роста кристаллов (С.К.) являются величинами постоянными в течение всего времени кристаллизации. Графическое выражение этой зависимости представлено на рис.2.

Скорость возникновения зародышей - это число зародышей (Ч.З.), возникающих в единице объема (1 мм^3) в единицу времени (1 с).

Скорость роста кристалла (С.К.) - это линейное перемещение растущей грани кристалла в миллиметрах в единицу времени.

Зародыши (центры кристаллизации) могут возникать непосредственно в жидкой фазе, а также на поверхностях примесей, присутствующих в жидкости или специально введенных (несамопроизвольное образование центров кристаллизации).

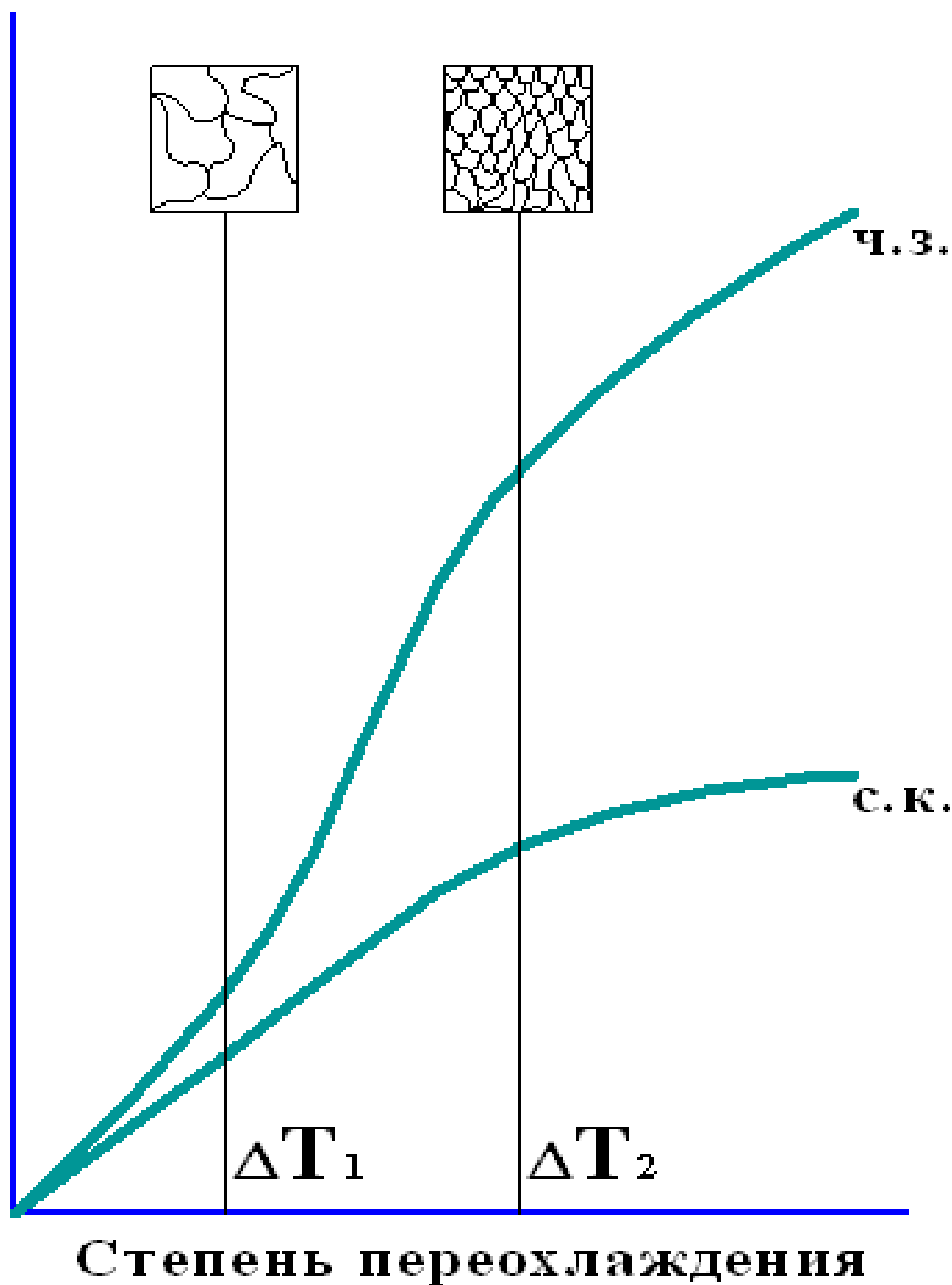
Величина получаемых кристаллов N зависит от соотношений величин С.К. и Ч.З. при данной степени переохлаждения и выражается формулой:

$$N = \alpha \sqrt{\frac{С.К.}{Ч.З.}}$$

Здесь α - коэффициент пропорциональности.

На рис.3 рассматриваются две степени переохлаждения ΔT_1 (малая) и ΔT_2 (большая). Во втором случае величина знаменателя (Ч.З.) в формуле значительно больше, чем в первом случае, при незначительном увеличении числителя (С.К.). Следовательно, величина N во втором случае будет намного меньше, чем в первом. Иными словами, чем больше степень переохлаждения, тем мельче зерно. На практике измельчение зерна в сплавах достигается путем модифицирования, т.е. путем введения в расплав мельчайших частичек, являющихся дополнительными центрами кристаллизации. Увеличение количества вводимых центров приводит к уменьшению размеров зерна.

$T_{пл}$
Число зародышей, ч.з.
Скорость роста кристаллов, с.к.



Законы кристаллизации для солей и металлических сплавов одинаковы, поэтому изучение процесса кристаллизации можно производить на растворах солей. Изучение процесса кристаллизации солей производится с помощью биологического микроскопа при увеличении не более $100\times$.

Процесс кристаллизации изучаемой капли раствора соли азотнокислого свинца можно условно разделить на три периода. По мере испарения жидкости концентрация раствора изменяется и раствор постепенно приходит к состоянию насыщения. Наибольшее испарение будет у краев капли, откуда и начинается кристаллизация.

В течение первого периода кристаллизации у краев капли образуется корка, состоящая из мелких, произвольно ориентированных кристаллов (рис.4А), так как сильное переохлаждение вызвало появление большого числа центров кристаллизации.

Во второй период кристаллизации растут крупные, так называемые столбчатые кристаллы (рис.4Б). Направление их нормально к краям капли и растут они в направлении прямо противоположном теплоотводу. Здесь мы имеем большую скорость кристаллизации при ограниченном числе зародышей.

В третий период кристаллизации возникают кристаллы в центральной зоне капли, где слой раствора толще и испарение (или охлаждение) происходят позже и медленнее. Эти кристаллы (рис.4В) беспорядочно ориентированы и имеют ясно выраженную форму дендритов. Дендрит - древовидный кристалл.

Процесс затвердевания металлического слитка весьма схож с процессом кристаллизации капли соли.

Порядок выполнения работы:

1. На электроплитке нагреть до кипения насыщенные растворы имеющихся солей поочередно.
2. Отфокусировать с помощью, макро- и микровинтов биологический микроскоп (по чистому стеклу).
3. Стеклопалочкой нанести поочередно по капле раствора солей на плоское стекло.
4. Положить стекло с каплей раствора соли на предметный столик, микроскопа.
5. Добившись необходимой резкости изображения границы капли наблюдать за процессом кристаллизации соли через окуляр микроскопа.
6. По окончании затвердевания капли зарисовать ее структуру.
7. Оформить отчет по работе, который должен содержать краткое описание процесса кристаллизации, рисунки капель солей и пояснения к рисункам.

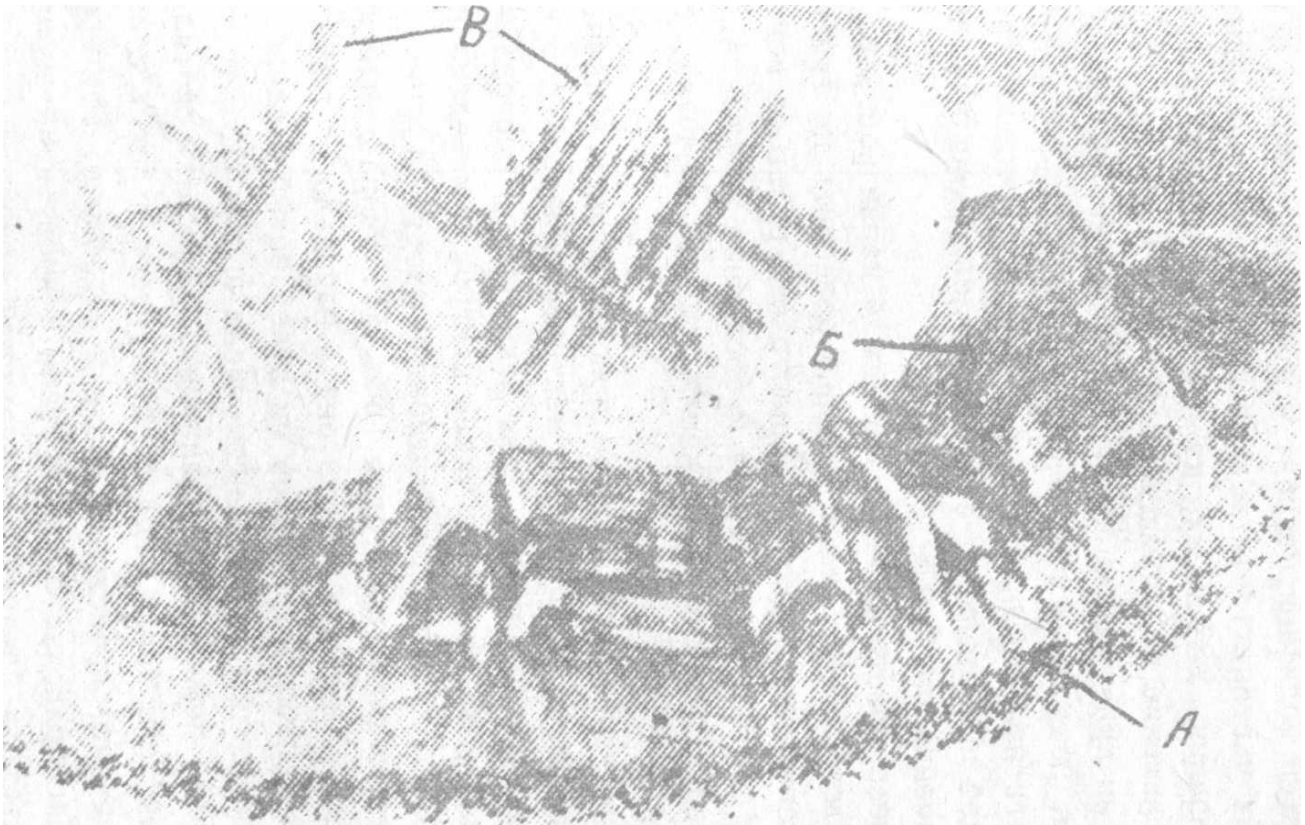


Рис.4 . Структура застывшей капли раствора.

Вопросы для самопроверки:

1. Что такое "анизотропия"?
2. Каковы условия процесса кристаллизации (плавления)?
3. Из каких этапов складывается процесс кристаллизации?
4. От чего зависит размер зерна?
5. Как, используя формулу величины зерна (N), можно объяснить измельчение зерна при большей, степени переохлаждения?
6. С чего начинается и чем заканчивается кристаллизация капли раствора соли?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 ИЗУЧЕНИЕ МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОГО МИКРОСКОПА

Цель работы: Научить студентов работе на металлографических микроскопах. Познакомить студентов с устройством микроскопов МИМ-6 и МИМ-7.

Задание: 1. Изучить конструкции микроскопов МИМ-6 и МИМ-7
2. Зарисовать оптическую систему микроскопа

МИМ-7.

3. Научиться работе с микроскопом (основным регулировкам).

Оборудование и материалы:

Микроскопы МИМ-6 и МИМ-7, микрошлифы.

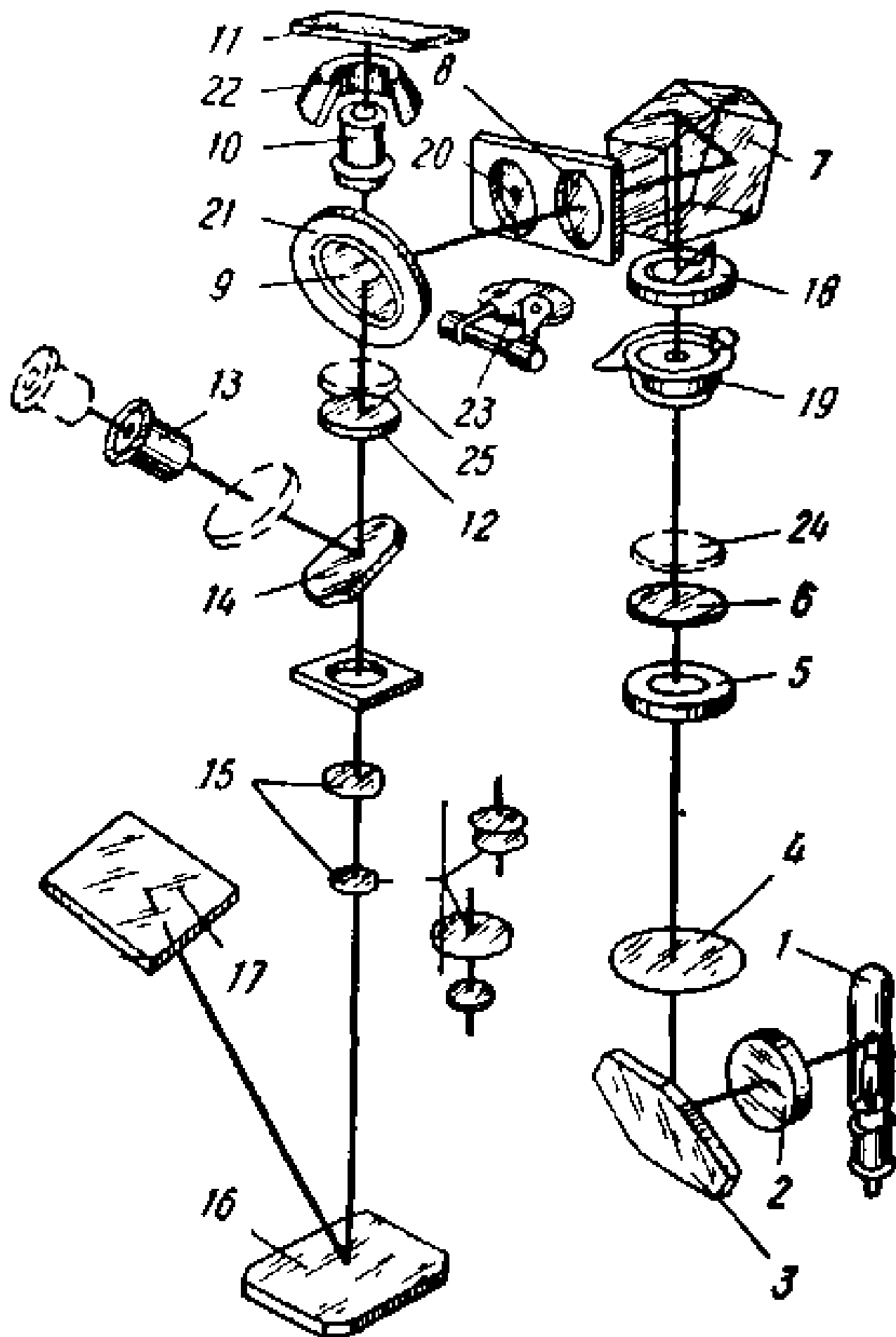
Основные положения:

Схема оптической системы: микроскопа МИМ-7 приведена на рис.5. Световые лучи от электрической лампы 1 проходят через коллектор 2 и отражаясь от зеркала 3 попадают на светофильтр 4, затем на апертурную диафрагму 5 (для ограничения световых пучков и получения высокой четкости изображения), линзу 6, фотозатвор 7, полевую диафрагму 8 (для ограничения освещенного поля рассматриваемого участка на микрошлифе), преломляются пентапризмой 9, проходят через линзу 10, попадают на отражательную пластину 11, направляются в объектив 12 и на микрошлиф 13, установленный на предметном столике. Отразившись от микрошлифа, лучи вновь проходят через объектив 12 и, выходя из него параллельным пучком попадают на отражательную пластинку 11 и ахроматическую линзу 14.

При визуальном наблюдении в ход лучей вводится зеркало 15, которое отклоняет лучи в сторону окуляра 16. При фотографировании - зеркало 15 выключается выдвижением тубуса вместе с окуляром и зеркалом, и лучи направляются непосредственно к фотоокуляру 17, проходя через него на зеркало 18, от которого отражается и попадают на матовое стекло 19, где и дают изображение. Для фотографирования микроструктуры матовое стекло заменяют кассетой с фотопленкой.

Микроскоп МИМ-7 (рис.6) состоит из трех основных частей: осветителя I, корпуса II и верхней части III.

Осветитель имеет фонарь 1, внутри кожуха которого находится лампа.



ис.5 Оптическая система микроскопа МИМ-7

Центровочные винты 2 служат для совмещения центра нити лампы с оптической осью коллектора.

В корпусе микроскопа находится диск 3 с набором светофильтров, рукоятка 4 для переключения фотоокуляров, посадочное устройство для рамки 5 с матовым стеклом и кассета с фотопластинкой, узел апертурной диафрагмы, укрепленной под оправкой осветительной линзы 6, кольцо с накаткой 7, служащее для изменения диаметра диафрагмы, винт 8, вращением которого смещается диафрагма для создания косого освещения, винт 9 для фиксации поворота апертурной диафрагмы.

Верхняя часть микроскопа имеет следующие детали. Иллюминаторный тубус 10, в верхней части которого расположено посадочное отверстие под объектив. На патрубке иллюминаторного тубуса расположена рамка с линзами II для работы в светлом и темном поле, под кожухом 13 - пентапризма. В нижней части кожуха 13 расположены центровочные винты 14 полевой диафрагмы, диаметр которой изменяют при помощи поводка 15. Под конусом полевой диафрагмы находится фотозатвор 16. Визуальный тубус 17, в отверстие которого вставляется окуляр 18. При визуальном наблюдении тубус вдвигают до упора, а при фотографировании выдвигают его до отказа. Предметный столик 19, который при помощи винтов 20 может передвигаться в двух взаимно перпендикулярных направлениях. В центре предметного столика имеется окно, в которое вставляют одну из сменных подкладок 21 с отверстиями различного диаметра. Микрометрический винт 24 служит для перемещения предметного столика в вертикальном направлении и этим производится грубая наводка на резкость. Зажимный винт 25 фиксируют определенное положение предметного столика, чтобы он самопроизвольно не опускался. Микрометрический винт 26, с помощью которого объектив перемещается в вертикальном направлении и точно наводится на резкость. Цена деления барабана - 0,003 мм.

Схема оптической системы микроскопа МИМ-6 приведена на рис.7. По ней необходимо самостоятельно разобраться в ходе световых лучей.

Микроскоп МИМ-6 (рис.8) состоит из трех основных частей: механической системы, осветительного устройства, фотокамеры. Механическая система состоит из следующих частей. Иллюминаторный тубус 1, в котором расположены апертурная и полевая диафрагмы, линзы и полуматовая пластинка. Апертурная диафрагма находится на конце тубуса и может вращаться на 360° вокруг тубуса и перемещаться в радиальном направлении на 7 мм. Корпус 2 к которому прикреплен иллюминаторный тубус имеет калиброванное отверстие, в которое вставляется объектив. Предметный столик 3, который при помощи винтов 4 может перемещаться на 15 мм в двух взаимно перпендикулярных направлениях. В центре предметного столика имеется окно, в которое вставляется одна из сменных подкладок 5, с отверстиями разного размера. Грубая наводка на резкость в вертикальном направлении осуществляется винтом 9. Зажимной винт 10 служит для фиксирования определенного положения предметного столика, чтобы он самопроизвольно не опускался. При помощи винта II производят тонкую наводку на резкость. Визуальный тубус 12 в отверстие которого вставляется окуляр 13. Рукоятка 14 передвиганием которой в ход лучей вводится или выводится из него призма визуального наблюдения. Фототубус, находящийся под крышкой 15. Осветительное устройство укреплено на кронштейне 16. В кожухе 17 помещена электрическая лампа. Винтами 20 производится центрирование лампы. В корпусе 21 помещен коллектор, который

перемещается рукояткой 22. На конце осветительного устройства расположены светофильтры 23. В окно Фотокамеры устанавливается рамка 24 с матовым стеклом или фотокассетой. Наверху фотокамеры имеется рукоятка 25 фотозатвора. Фотокамера, являющаяся нижним корпусом, установлена на основании 26.

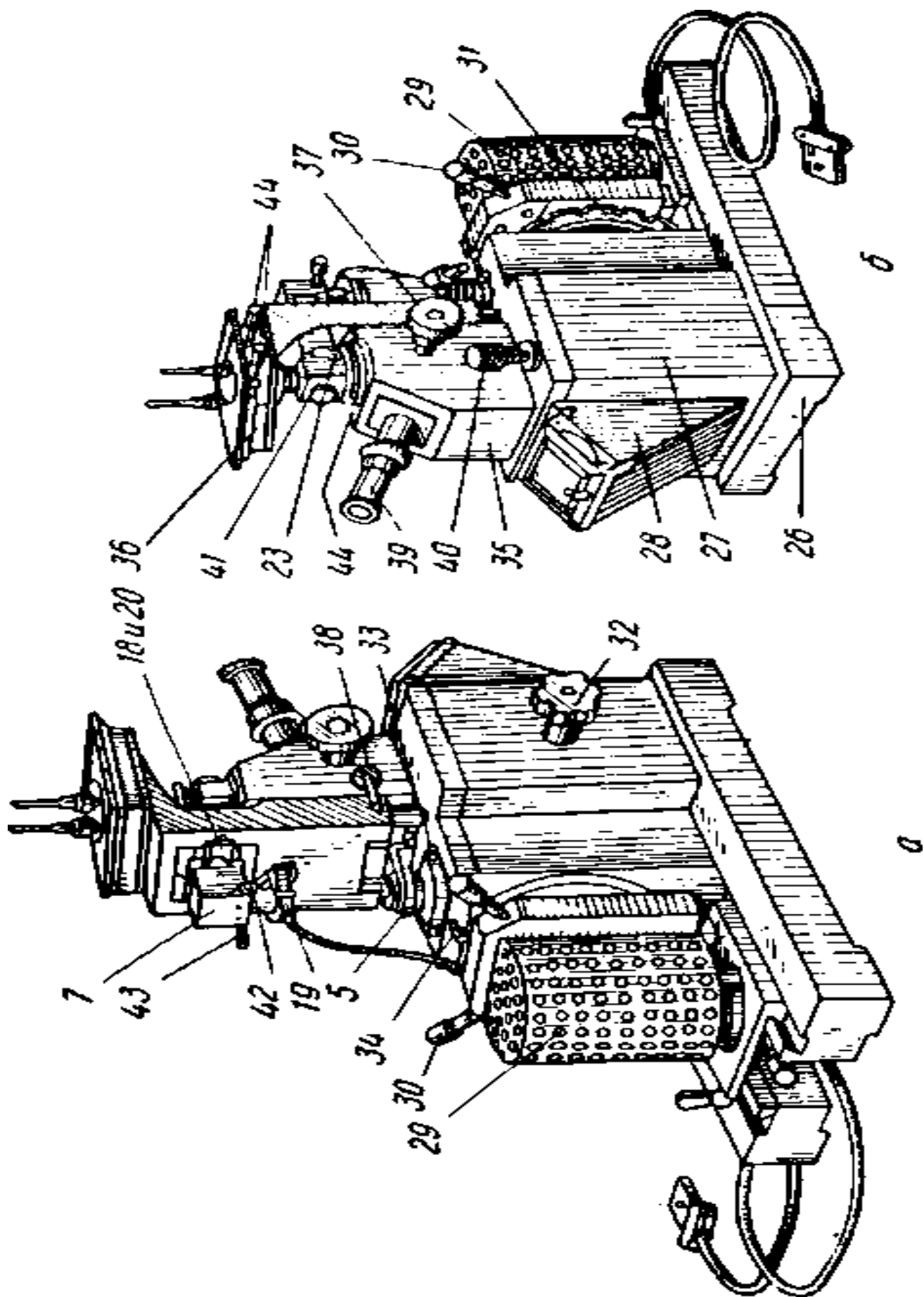


Рис.6 Общий вид микроскопа МИМ-7

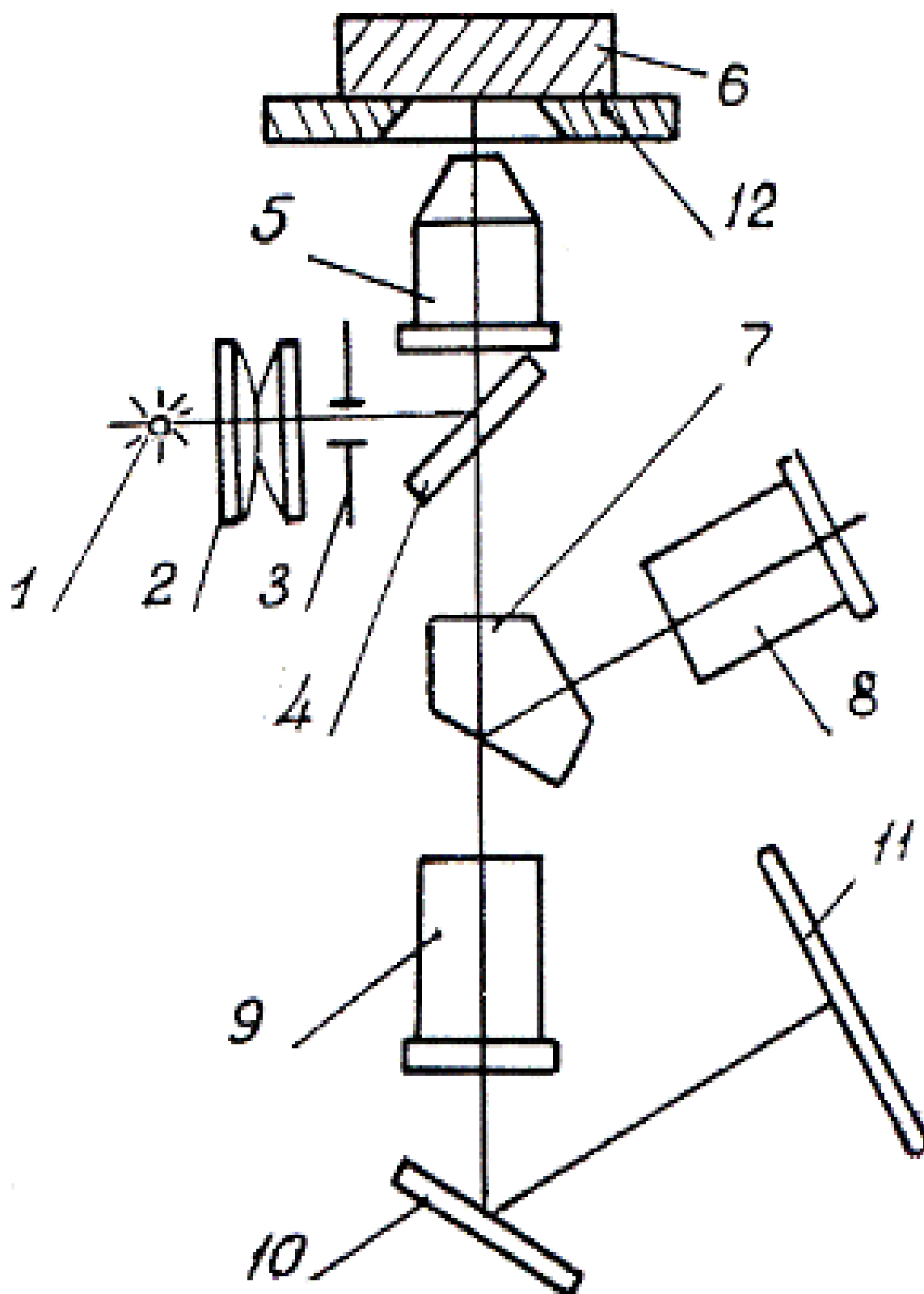


Рис.7 Оптическая схема микроскопа МИМ-6

Порядок выполнения работы:

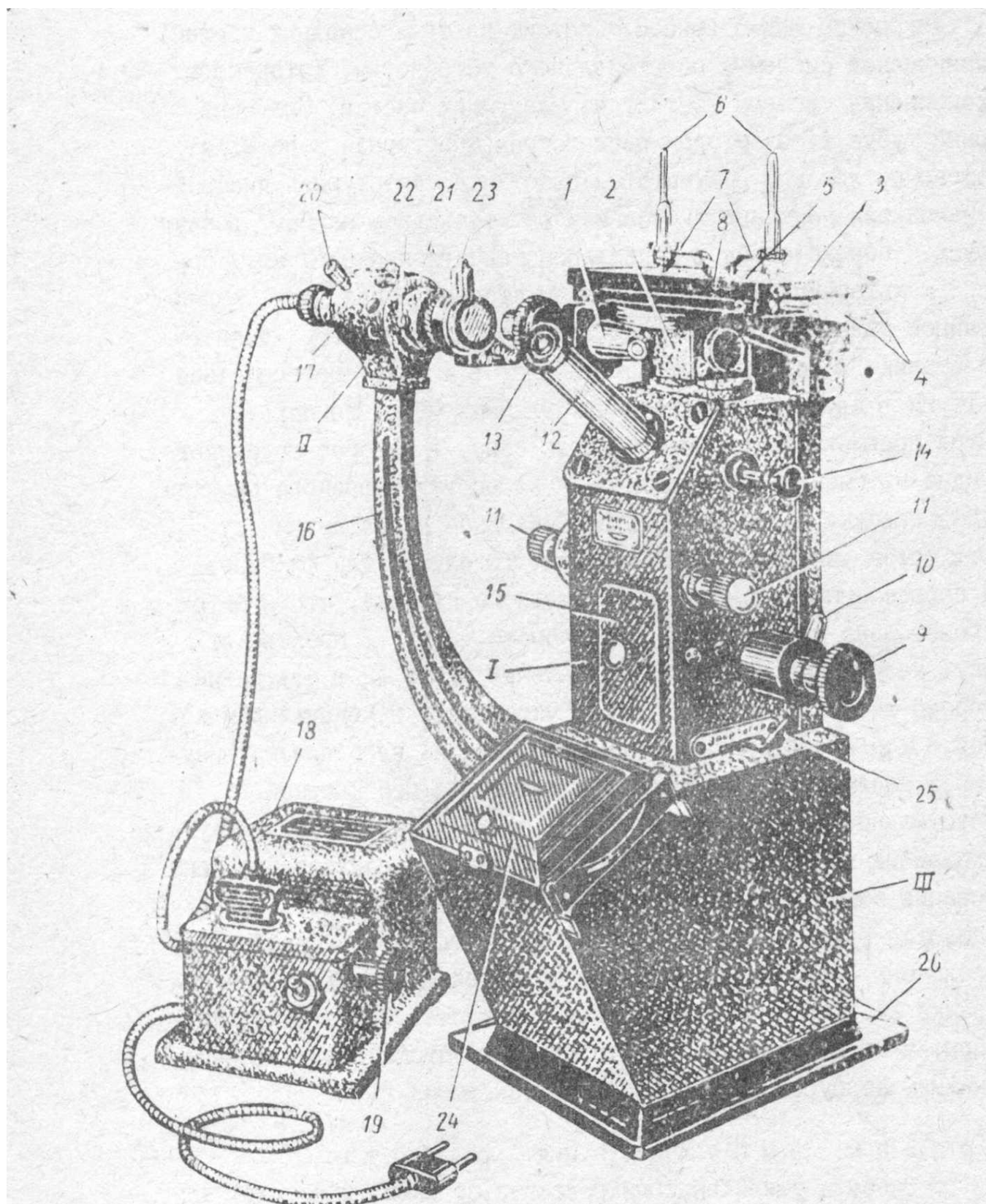
1. Выбрать увеличение микроскопа (объектив и окуляр) для визуального наблюдения, пользуясь данными таблицы 1.
2. В отверстие визуального тубуса вставить окуляр.
3. Вращением макрометрического винта поднять предметный столик и вставить объектив в посадочное отверстие иллюминаторного тубуса.
4. В окно предметного столика вставить подкладку с нужным отверстием (в зависимости от размеров шлифа).
5. При помощи винтов установить предметный столик так, чтобы объектив был в центре отверстия подкладки.
6. Поместить исследуемый шлиф полированной и протравленной поверхностью вниз на подкладку предметного столика.
7. Визуальный тубус вдвинуть до упора.
8. Наблюдая в окуляр, вращением макрометрического винта произвести грубую наводку на резкость и зажимным винтом закрепить предметный столик в установленном положении.
9. Наблюдая в окуляр, вращением микрометрического винта произвести точную наводку на резкость.
10. При помощи винтов перемещать предметный столик для просмотра структуры в разных местах. Наблюдаемые структуры зарисовать.

Таблица 1

Увеличения микроскопа МИМ-7 при визуальном наблюдении

Объективы	Окуляры			
	7 ^x	10 ^x	15 ^x	20 ^x
Для светлого и темного поля				
8,6 ^x ($\Gamma=2,77$; $A=0,17$)	60	90	130	170
14,4 ^x ($\Gamma=13,89$; $A=0,30$)	100	140	200	300
24,5 ^x ($\Gamma=8,16$; $A=0,37$)	170	240	360	500
32,5 ^x ($\Gamma=6,16$; $A=0,65$)	250	320	500	650
Иммерсионные				
72,2 ^x ($\Gamma=2,77$; $A=1,25$) (только для светлого поля)	500	720	1080	1440
71,7 ^x ($\Gamma=2,79$; $A=1,00$) (только для темного поля)	500	720	1080	1440

Рис.8 Общий вид микроскопа МИМ-6



Вопросы для самопроверки:

1. В чем разница между ходом лучей при фотографировании в микроскопах МИМ-6 и МИМ-7?
2. Как определить увеличение микроскопа?
3. Для чего нужны апертурная и полевая диафрагмы?
4. В чем отличие металлографического микроскопа от биологического?
5. Что надо сделать для подготовки микроскопов к фотографированию?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

АНАЛИЗ МИКРОСТРУКТУРЫ СПЛАВОВ

Цель работы: Научить студентов изготовлению микрошлифов, их травлению, исследованию структуры, определению количества (процентного содержания) углерода в стали.

- Задание:
1. Изучить теоретическую часть.
 2. Изготовить микрошлиф предложенного образца (пронумерованного) методом механического шлифования и полирования.
 3. Рассмотреть полученную микроструктуру под микроскопом или с помощью МТУ-1 и зарисовать ее изображение.
 4. Определить в процентах площадь поверхности микрошлифа, занимаемую перлитом и записать под рисунком.

Оборудование и материалы:

1. Металлографический микроскоп.
2. Металлографическая наждачная бумага разных номеров.
3. Толстое стекло.
4. Реактивы для травления.
5. Пронумерованные образцы стали.
6. Полировальный станок с полирующим материалом (окись хрома или алюминия, паста ГОИ и т.н.).
7. Спирт для промывки микрошлифа.
8. Фильтровальная бумага.
9. Альбом микроструктур стали.

Основные положения:

Микроанализ - исследование структуры и пороков металла с помощью микроскопа, т.е. при больших увеличениях. Исследованию подвергают специально приготовленные микрошлифы. Микроанализ позволяет определить структуру металла после различных технологических обработок. При помощи микроисследования можно установить качество металла (засоренность неметаллическими включениями - осидами, сульфидами и т.д.), величину зерна металла, дефекты и ряд других деталей структуры.

Микроструктурный метод исследования металлов состоит из следующих этапов: а) приготовление шлифов - шлифование и полирование; б) травление шлифов - выявление структуры; в) исследование структуры, выявление дефектов под микроскопом.

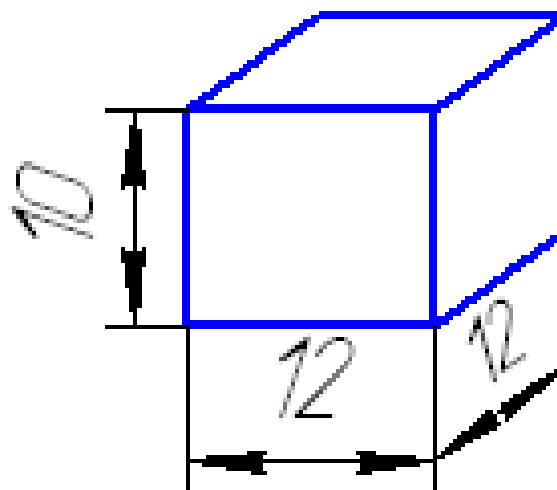
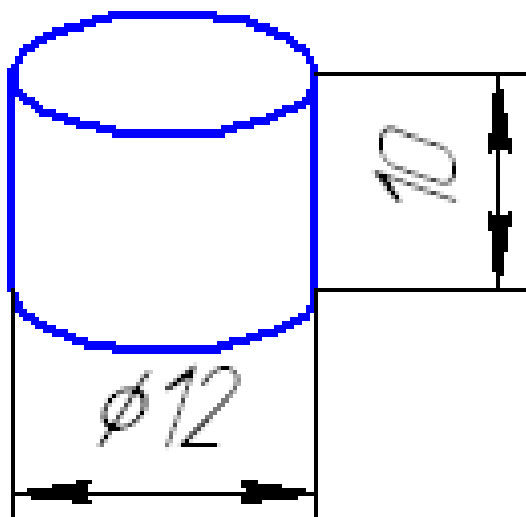
Образец металла, специально подготовленный для исследования под микроскопом, называется микрошлифом. Наиболее удобными размерами микрошлифа является цилиндр диаметром 12 мм и высотой 10 мм или параллелепипед с площадью основания 12x12 мм и высотой 10 мм (рис.9). Если исследуемый образец представляет собой тонкую пластинку или лист, то для удобства шлифования и полирования его зажимают в струбцинку или в металлической муфте его заливают расплавленным бакелитом, серой или тугоплавким сплавом (рис.10).

Отрезка образца для микрошлифа производится ножовкой или на токарном станке. В хрупких сплавах образец для изготовления шлифа можно отбить молотком. Если металл очень твердый, образец отрезают посредством тонкого карборундового круга с обильным охлаждением.

Исследуемую поверхность образца заторцовывают на наждачном круге или опиливают напильником. Отрезку и заторцовку необходимо вести с охлаждением образца водой, иначе он будет нагреваться и структура сплава может измениться.

Подготовку поверхности, шлифование и полирование образцов ведут с помощью абразивных материалов и инструментов. Абразивные материалы - это измельченные породы: природные (алмаз, корунд, наждак, гранит, кварц, кремнь, крокус – окись железа и др.) и искусственные (синтетические алмазы, эльбор - нитрид бора, электрокорунд, карбид кремния, карбид бора, окись алюминия и др.). Абразивный материал характеризуется номером зернистости (см. табл.2).

Шлифовальную шкурку изготавливают так. На бумажную или тканевую основу, специально подготовленную, наносят абразивный материал и закрепляют клеящим веществом (мездровый клей, специальный лак, смола). В зависимости от последнего шкурка предназначена для сухого шлифования или с водяным, масляным или керосиновым охлаждением - водостойкая шкурка. Например, водостойкая бумажная шлифовальная шкурка шириной 230 мм. длиной 280 мм из зеленого карбида кремния марки 63С зернистостью М50-В, класса А (качество) обозначается так: Водостойкая 230х280 63С М50ВА ГОСТ 10054-75. Шлифование ведется на бумаге зернистостью 10, 8, 6, 5, 4, 3, а для окончательного шлифования можно воспользоваться наждачной бумагой зернистостью М28, М20. Использование всех перечисленных бумаг желательно для ускорения процесса шлифования.



Ри

с.9 Предпочтительные размеры микрошлифов

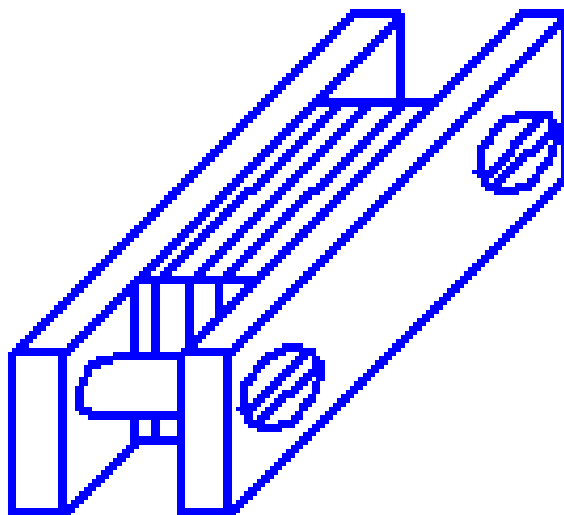
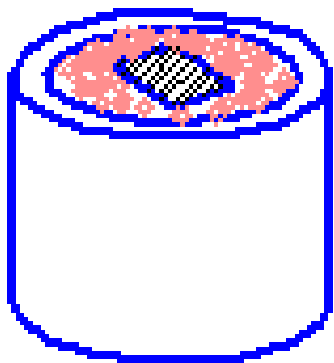


Рис.10 Способы закрепления мелких и тонких микрошлифов:

А) Заливка в муфте легкоплавким сплавом, бакелитом или серой;

Б) Закрепление в струбцинке.

Крупность основной фракции	
Номер зернистости	Крупность основной фракции
Шлифзерно	
200	2500... 2000
160	2000... 1600
125	1600... 1250
100	1250... 1000
80	1000... 800
63	800... 630
50	630... 500
40	500... 400
32	400...315
25	315... 250
20	250... 200
16	200... 160
Шлифпорошки	
12	160... 125
10	125... 100
8	100... 80
6	80... 63
5	63...50
4	50...40
3	40... 28
Микропорошки	
M63	63... 50
M50	50... 40
M40	40... 28
M28	28...20
M20	20...14
M14	14...10
Тонкие микропорошки	
M10	10... 7
M7	7...5
M5	5...3,5

Шлифование производится вручную или на механическом станке, вручную образец шлифуется следующим образом. Самую грубую бумагу кладут на толстое стекло; образец слегка прижимают рукой к наждачной бумаге заторцованной стороной и водят им по бумаге в одном направлении до уничтожения рисков, оставшихся после торцевания. Поверхность шлифа должна соприкасаться с бумагой всей плоскостью. Затем берут бумагу следующего номера и шлифование продолжается. Образцом водят в направлении перпендикулярном к рискам, оставшимся от предыдущего номера бумаги, до их полного выведения. Шлифование продолжают используя все более мелкие номера бумаги. Наряду с ручным шлифованием существует и механическое, которое ведется на специальных шлифовальных машинах, которые имеют несколько приводимых во вращательное движение от электродвигателя кругов диаметром 200-250 мм. К этим кругам прикрепляется или наклеивается металлографическая шлифовальная бумага различных номеров, на которой и шлифуют образцы, постепенно переходя от более грубых сортов бумаги к более тонким. При этом риски уничтожаются так же, как и при ручном шлифовании поворачиванием шлифа на 90° при переходе от одного номера бумаги к другому.

При исследовании сталей, подвергнутых химико-термической обработке (цементации, азотированию и т.п.) важно, чтобы края шлифа не были завалены, т.е. были бы плоскостью, а не сферической поверхностью. Для предотвращения заваливания краев образец закрепляют в струбцину.

Шлифы полируются на вращающемся плоском круге, осаженом на ось двигателя. Круг покрыт сукном, которое смачивается водой с мельчайшим порошком окиси алюминия или хрома. Полирование должно продолжаться не более 3-5 мин и прекращаться, как только будут выведены последние риски, оставшиеся на шлифе после шлифования. Более длительное полирование вызывает выкрашивание составляющих структуры. Полирование считается законченным, если удалены все риски и шлиф имеет зеркальную поверхность. После полирования шлиф промывают водой, затем спиртом и сушат, прикладывая его (не вытирая) к фильтровальной бумаге.

Полированный шлиф металла в нетравленном виде под микроскопом имеет вид светлого круга. Только в случае неметаллических включений (оксидов, сульфидов и т.п.) они видны и без травления.

На поверхности шлифа в результате травления образуются выступы и впадины, характеризующие микроструктуру сплава (рис. 2). Для травления микрошлифов применяется множество реактивов. Наиболее употребительные из них для травления стали и чугуна следующие:

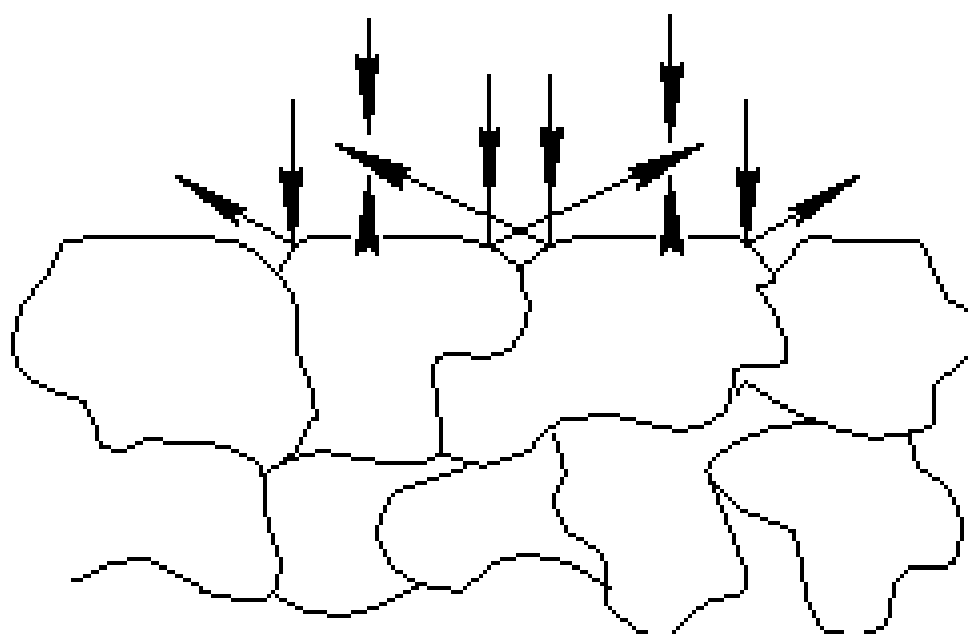


Рис.11 Поверхность шлифа после травления

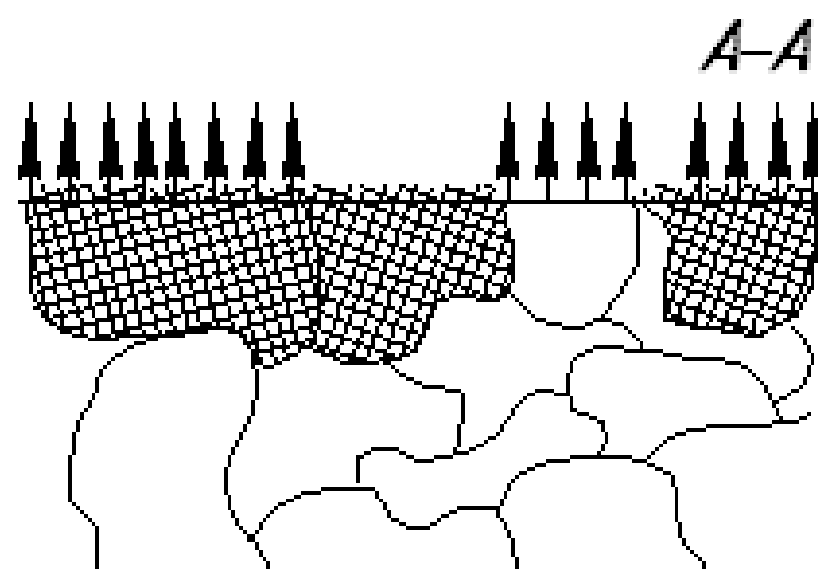
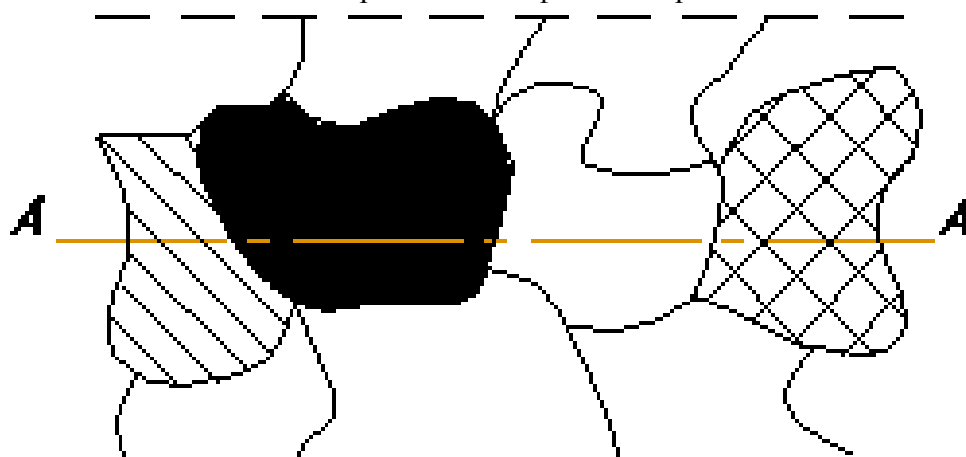


Рис.12 Оптически неодинаковая окрашиваемость зерен
за счет неодинакового рассеивания лучей

- 5% раствор азотной кислоты в этиловом спирте;
- 4% раствор пикриновой кислоты в спирте;
- пикрат натрия (пикриновая кислота и едкий натр) - стандартный реактив, применяемый для того, чтобы отличить цементит от феррита (пикрат натрия окрашивает цементит в темный цвет).

Реактив перед работой наливают в небольшую стеклянную или фарфоровую чашку. Перед травлением полированную поверхность шлифа с целью обезжиривания промывают спиртом, а затем погружают шлиф на непродолжительное время (несколько секунд) в реактив. Иногда целесообразно реактив наносить на поверхность шлифа при помощи капельницы, пипетки или ватки на стеклянной палочке. После травления шлиф промывают водой, а затем спиртом и сушат прикладывая к фильтровальной бумаге.

Если сталь, структура которой состоит из перлита и феррита, протравить раствором азотной или пикриновой кислоты, то под микроскопом перлит будет иметь вид темных зерен, а феррит - светлых (рис.12). Оптически неодинаковую окрашиваемость зерен перлита и феррита можно объяснить тем, что от феррита световых лучей в объектив отражается больше, чем от перлита, так как зерна перлита имеют менее ровную поверхность, и много лучей вследствие их рассеивания не попадает в объектив. В результате травления границы зерен вытравливаются сильнее и дают углубления. Эти углубления вследствие рассеивания света кажутся нам под микроскопом в виде темных линий. Различная окрашиваемость отдельных зерен феррита объясняется их анизотропией. В сечении шлифа зерна феррита перерезаны по различным кристаллографическим плоскостям, а так как свойства зерен в различных сечениях различны, то и растворение каждого зерна под действием реактива неодинаково. То зерно, которое протравилось сильнее, под микроскопом будет выглядеть темнее, так как дает большее рассеивание света.

Следовательно, действие реактива на различные структурные составляющие неодинаково. Перлит, будучи двухфазной структурой, подвергается большему электрохимическому растворению, чем феррит.

Таким образом, цель травления заключается в том, чтобы путем различного воздействия на сплав травлением, окислением при нагреве и т.п. искусственно вызвать в нем неодинаковое отражение света различными структурными составляющими или получить резкие границы, отделяющие одно зерно от другого.

Чем мельче зерно, тем быстрее травится шлиф. Поэтому понятно почему троостит травится гораздо быстрее чем сорбит, а сорбит быстрее, чем перлит.

При изготовлении шлифов из чугуна, в структуре которого имеется графит, следует шлифовальную шкурку слегка натереть парафином, чтобы избежать выкрашивания графита абразивными частицами. Без этой предосторожности вместо графита на поверхности шлифа будут видны полости, в которых ранее располагался графит.

Порядок выполнения работы:

1. Получить у преподавателя пронумерованный образец и все необходимое для изготовления микрошлифа (см. раздел "Материалы и оборудование").

2. Выполнить работу в порядке, указанном в "Задании". В ходе выполнения работы необходимо научиться правильно устанавливать микрошлиф на предметный столик микроскопа, наводить на резкость, опытным путем подбирать время травления микрошлифа для более полного выявления микроструктуры.

3. Оформить письменный отчет о работе, который должен содержать краткое описание методики приготовления и травления микрошлифа; рисунки структур до травления и после

него; пояснения к рисункам; определение в процентах площади поверхности микрошлифа, занимаемой перлитом.

Вопросы для самопроверки:

1. Что такое микроструктура?
2. Каков порядок приготовления микрошлифа?
3. Какие номера металлографической наждачной бумаги используются при шлифовании?
4. Для чего травится микрошлиф?
5. Что входит в состав простейшего травителя для стали?
6. Зачем используется в качестве травителя пикрат натрия?
7. Почему зерна феррита светлые, а перлита - темные?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5 АНАЛИЗ МАКРОСТРУКТУРЫ СПЛАВОВ

Цель работы: Научить студентов изготовлению макрошлифов, их травлению, выявлению дефектов и оценке макроструктуры.

Задание:

1. Изучить теоретическую часть.
2. Изготовить макрошлиф болта.
3. Исследовать расположение сульфидных включений (ликвацию серы) методом серных отпечатков.

Оборудование и материалы:

1. Образец для исследования ликвации серы.
2. Шлифовальная бумага.
3. Фотобумага (бромосеребряная засвеченная).
4. Пятипроцентный водный раствор серной кислоты.
5. Фиксаж (гипосульфит натрия, 250 г/л).
6. Спирт.
7. Цементованный образец.
8. Муфельная печь.
9. Маятниковый копер.

Основные положения:

Макроструктура - это структура, строение металла, видимое невооруженным глазом или при увеличении (до 30^х) с помощью лупы или специального микроскопа.

К анализу макроструктуры прибегают при проведении многих исследований и контроле готовой продукции.

Существует три основных способа изучения макроструктуры:

1. Просмотр хорошо прошлифованной и протравленной контролируемой поверхности готового изделия. Изделие после такого контроля идет в эксплуатацию.
2. Просмотр специально приготовленных макрошлифов.
3. Изучение излома образца.

Возможности макроструктурного анализа велики, он прост и не требует сложного оборудования. Он дает возможность выявить и определить дефекты, возникшие на разных этапах производства изделий. С его помощью можно выявить дендритное строение, местонахождение, форму и размер усадочной раковины, усадочной рыхлости, неметаллических включений, пористость, волокнистость, полосчатость структуры, зональную ликвацию углерода, фосфора, серы, марганца, кремния, характер изменения кристаллитов при пластической деформации. После термической или химико-термической обработок можно ориентировочно оценить толщину поверхностного слоя (закаленного, цементованного и др), выявить трещины.

Макрошлифы вырезаются пилами или автогеном. Условия резки не должны сказываться на состоянии поверхности контролируемого сечения. Поэтому шлиф после отрезки торцуют, строгают, шлифуют. Готовая поверхность должна быть ровной, гладкой, без наклепа и прижога.

Шлифы травят специальными реактивами до выявления строения и дефектов макроструктуры (рис. 13). После окончания травления шлиф тщательно промывают и высушивают.

Для выявления макроструктуры многих марок стали применяют горячий (60-80°C) 50%-ный раствор соляной кислоты. Травление проводят в течение 5-45 мин до четкого выявления макроструктуры.

Для травления нержавеющей, жаропрочных и т.п. сталей применяют нижеприведенные реактивы.

Реактив 1

Соляная кислота (концентрированная), см ³	50
Азотная кислота (концентрированная), см ³	5
Вода, л	50

Реактив 2

Соляная кислота (плотность 1,19 г/см ³), л	1
Азотная кислота (плотность 1,4 г/см ³), л	1
Вода, л	1

Реактив 3

Соляная кислота (концентрированная), л	1
Азотная кислота (концентрированная), л	1
Вода, л	1
Хромпик, г	110-115

Реактив 4

Соляная кислота (плотность 1,17 г/см ³), см ³	500
Серная кислота (плотность 1,18 г/см ³), см ³	35
Медный купорос, г	150

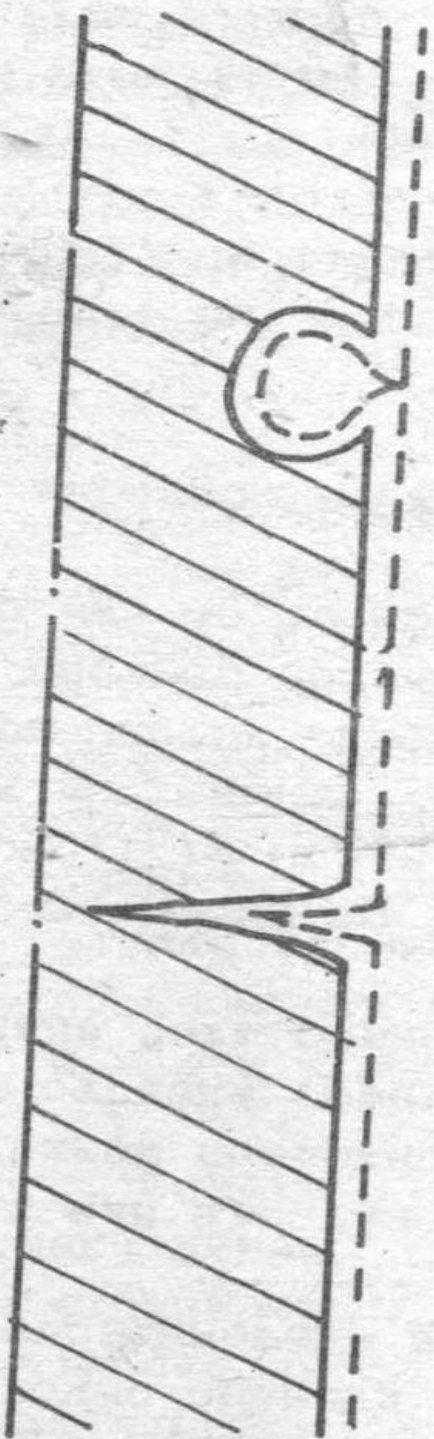


Рис.13 Выявление дефектов.

Первые два травителя применяют в горячем виде (60-70°C) и травят соответственно 5-10 и 15-25 минут. Реактив 4 применяют также для выявления макроструктуры сталей ферритного класса.

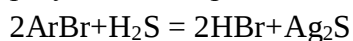
Готовый макрошлиф перед травлением протирают спиртом для удаления поверхностных загрязнений. Травление проводят в вытяжном шкафу.

Чтобы получить светлую поверхность шлифа с четкими дефектами, конструкционные стали после промывки водой дополнительно промывают 10-15%-ным водным раствором азотной кислоты и затем просушивают. Макрошлифы нержавеющей стали промывают теплой водой и дополнительно 5-10%-ным раствором хромпика.

Макроанализ широко применяют для выявления неоднородности химического состава (ликвации) металла. Такие вредные примеси, как сера и фосфор, часто располагаются неравномерно, что можно выявить макроанализом.

Выявление ликвации серы (проба на серу по Бауману). Для выявления ликвации серы применяют метод серных отпечатков. Хорошо подготовленную поверхность шлифа очищают спиртом от загрязнения. Лист фотобумаги (бромосеребряной) помещают на несколько минут в 5%-ный водный раствор серной кислоты и затем слегка просушивают между листами фильтровальной бумаги. Влажную фотобумагу накладывают на поверхность макрошлифа, прокатывают резиновым валиком или проглаживают рукой в резиновой перчатке для удаления воздушных пузырей и плотного прижатия к шлифу. Через 30 мин бумагу вжимают, промывают водой и фиксируют 20-30 мин в растворе гипосульфита. Потом снова промывают и сушат. Участки скопления серы имеют более темную окраску на сером фоне отпечатка.

Потемнение участков, содержащих повышенное количество серы происходит в результате химической реакции. Сера находится в металле в виде сульфидов железа и марганца. Сульфиды вступают в реакцию с серной кислотой оставшейся на фотобумаге, в результате чего выделяется сероводород и в большей степени там, где больше серы. Сероводород вступает в реакцию с бромистым серебром, входящим в состав эмульсионного слоя фотобумаги. Образующееся сернистое серебро имеет темный цвет.



С помощью реактива с CuCl_2 и NH_4Cl можно определить скопления фосфора в стали.

Чтобы выявить макростроение литой стали – дендритную структуру (в поперечном сечении слитка), ее травят в реактиве, содержащем

Соляной кислоты, мл	250
Серной кислоты, мл	35
Воды, мл.....	100

Реактив нагревают до 70-90°C и травят в нем сталь в течение 20-60 мин. После травления шлиф промывают горячей водой и нейтрализуют остатки кислоты раствором соды. На шлифе видно дендритное строение слитка (рис.14). Этот же реактив используют и для определения расположения волокон в заготовке (рис.15).

Для определения глубины поверхностного слоя, образованного цементацией или закалкой шлиф травят 3 мин в 50%-ном растворе соляной кислоты при 80°C. После травления закаленный слой имеет более темную окраску.

Для выявления цементованного слоя, можно применить следующий реактив:

$\text{CuCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, г 2

HCl , мл 1

Спирт, мл 100

Травление производят погружением поверхности шлифа в реактив на 1-2 мин. Цементованный слой не меняет окраски, а нецементованный металл покрывается налетом меди красного цвета.

Макроанализ излома позволяет с достаточной для практических целей точностью выявить глубину закаленного и цементованного слоев. Для этого контролируемые образцы подвергают закалке, надрезают и ломают. Закаленный слой матовый и имеет более мелкое кристаллическое строение, чем заметно отличается от вида излома сердцевины. Это относится и к цементованному слою. Отличить закаленный или цементованный слой можно и по цвету. Для этого ломаный образец нагревают до температуры 300- 350°C. При этом поверхностный слой имеет темно-синий цвет, а сердцевина - светло-синий.

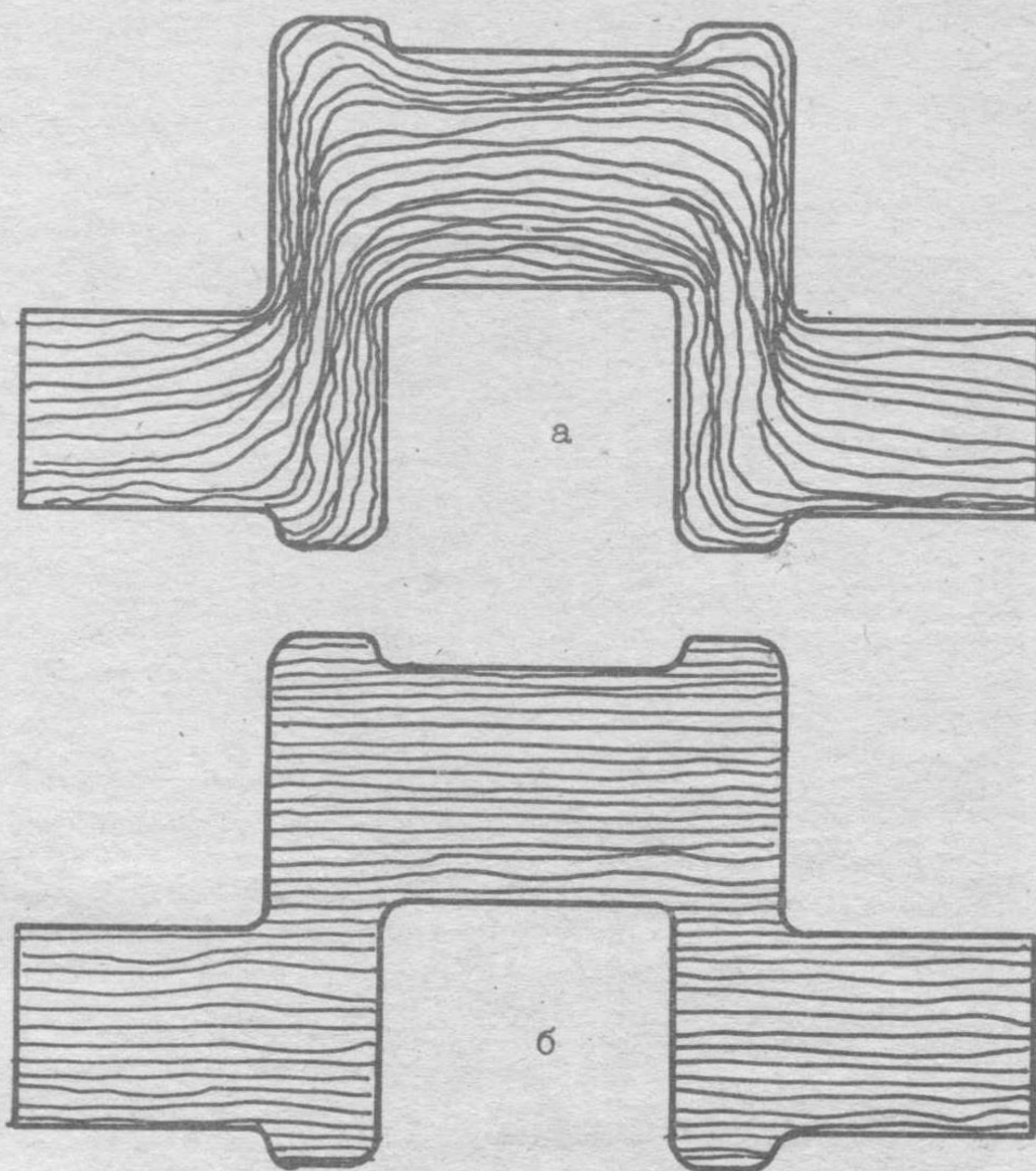


Рис.15. Макроструктура кованной (а) и
вырезанной стали (б).

Порядок выполнения работы:

1. Приготовить макрошлиф, полученного у преподавателя образца (например, болта в продольном сечении).
2. Приготовить реактивы для выявления макроструктуры и ликвации серы (по Бауману), или получить их у преподавателя (лаборанта).
3. Провести макроанализ образца для выявления ликвации серы, согласно приведенному выше описанию.
4. Получить у преподавателя (лаборанта) цементованный и закаленный образец.
5. Надрезать образец и сломать его на маятниковом копре.
6. Нагреть образец в печи до 300... 350°C.
7. Зарисовать излом и определить по цвету глубину цементации.
8. Оформить отчет о работе, где отразить краткое содержание теоретической части и сущность выполнения работы.

Вопросы для самопроверки:

1. Что такое макроструктура?
2. Какими способами изучают макроструктуру?
3. Для каких целей применяют макроанализ?
4. Как выявляют ликвацию серы при макроанализе?
5. Как определяют глубину закаленного или цементованного слоя?
6. Что входит в состав реактива для выявления макростроения литой стали?
7. Сколько времени и при какой температуре травят шлиф для определения расположения в нем волокон?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6 ИЗМЕРЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОВ

Цель работы: Научиться самостоятельному определению твердости на приборах Бринеля и Роквелла.

Задание:

1. Изучить устройство пресса Бринеля и прибора Роквелла, от счетного микроскопа.
2. Научиться выбирать с помощью таблицы нужный наконечник и соответствующую нагрузку, замерять полученный отпечаток (при испытании по Бринелю), пользоваться таблицей для определения твердости по Бринелю, выбору соответствующей шкалы прибора Роквелла.
3. Произвести измерение твердости по Бринелю и Роквеллу (шкала HВВ) образцов стали и цветных металлов, полученных у преподавателя или лаборанта.
4. Составить отчет о работе, в котором отразить основные данные о приборах, кинематическую схему пресса Бринеля, таблицу №4, заполнить протоколы замеров твердости, сравнить полученные значения твердости по Бринелю со значениями, полученными по Роквеллу. Выявить и письменно объяснить возможные причины несоответствия твердостей по Бринелю и Роквеллу одних и тех же образцов.

Оборудование и материалы:

Пресс Бринеля, прибор Роквелла, от счетный микроскоп, плакаты, образцы стали и цветных металлов.

Основные положения:

Одним из широко распространенных видов испытания металлов является определение твердости. Твердость металла можно определить прямыми и косвенными методами.

Прямые методы испытания на твердость состоят в том, что в образец вдавливают специальный твердый наконечник (из закаленной стали, алмаза или твердого сплава) различной формы (шарик, конус, пирамида). После снятия нагрузки остается отпечаток, величина которого характеризует твердость образца.

При косвенных испытаниях оцениваются свойства металла, пропорциональные его твердости (методы "царапания", "качающегося маятника", "отскакивания").

По значению твердости металла можно составить представление об уровне его свойств. Например, чем выше твердость, тем меньше пластичность металла, выше (в определенных пределах) предел прочности и износостойкость, и наоборот.

Твердость определяют на специальных приборах - твердомерах. Они бывают стационарные и переносные. Их принципиальное устройство одинаково для всех. Основными узлами твердомеров являются станина, стол, наконечник, нагружающее устройство, прибор для измерения величины деформации.

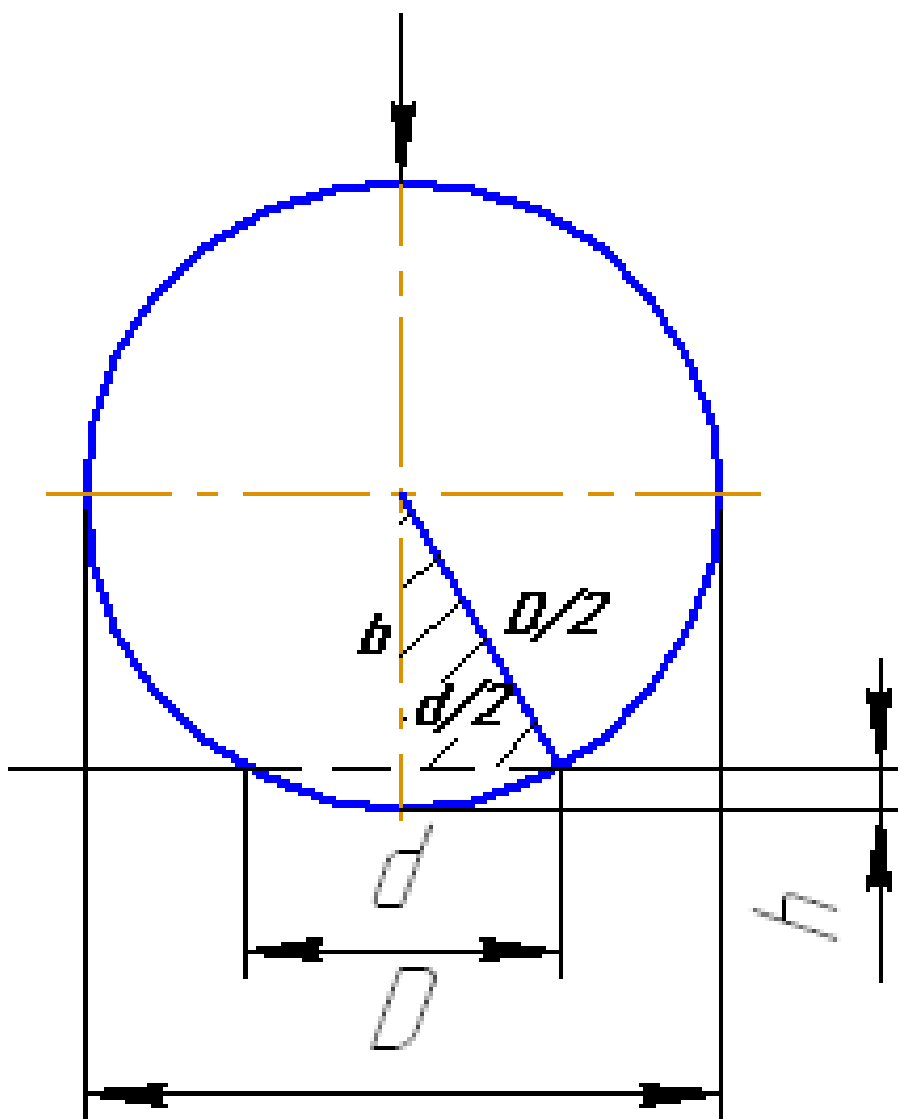


Рис.16 Схема испытания на твердость по методу Бринеля

Наиболее часто проводят определение твердости следующими методами: измерение твердости по Бринелю (ГОСТ 9 012-53); по Роквеллу (ГОСТ 9013-59); по Виккерсу (ГОСТ 2999-75); измерение твердости методом ударного отпечатка (ГОСТ 18 661-73); измерение микротвердости вдавливанием алмазного наконечника (ГОСТ 9450-76).

Измерение твердости по Бринелю. Оно производится вдавливанием в испытываемый образец стального шарика определенного диаметра (10,0; 5,0; 2,5 мм) под действием заданной нагрузки (187,5-3000 кг) в течение определенного времени (60, 30, 10 с).

Схема испытания дана на рис.16. Твердость по Бринелю обозначается H_B и определяется по формуле:

$$H_B = \frac{P}{F}, \text{ кгс/мм}^2$$

Где P - нагрузка в кгс,

F - площадь поверхности полученного отпечатка (парового сегмента) в мм^2 .

$$F = \pi \cdot D \cdot h$$

Так как h измерить труднее, чем d , то выразим h через D и d . Из рис. 16 видно, что

$$h = \frac{D}{2} - b$$

$$b = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2} = \frac{\sqrt{D^2 - d^2}}{2},$$

$$h = \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2}$$

Т.е. -----

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

и, следовательно,

откуда

$$H_B = \frac{2P}{\pi \cdot D(\sqrt{D^2 - d^2})}, \text{ кгс/мм}^2$$

Теперь зная нагрузку P и диаметр шарика, остается измерить с помощью отсчетного микроскопа диаметр отпечатка d и подставить полученную величину в формулу для определения твердости образца.

На рис.17 приведена схема пресса. В верхней части станины 1 имеется шпиндель 2, в который вставляется наконечник с шариком 3. Образец 5, устанавливаемый на столик 4, прижимают к шарiku, вращая маховик 6 до тех пор, пока точка на шпинделе не совместится с риской на обойме шпинделя, или до ощущения упора. При этом пружина 9 сожмется, обеспечив предварительную нагрузку 100 кгс. Далее включают электродвигатель 8 нажатием кнопки. Благодаря двухступенчатому червячному редуктору рычаг 10 опускается, убирая точку опоры из-под рычага 13, на котором навешаны соответствующие грузы 15. Этим создается нагрузка на шарик в течение 10, 30 или 60 с. Время выдержки выбирается в зависимости от испытываемого материала (см. табл.3). Далее рычажок 12, нажав на рычажок реверсивного пускателя II, переключает вращение электродвигателя на обратное. Рычаг 10, перемещаясь вверх, поднимает подвеску с грузами, снимая этим нагрузку с шарика. Рычажок 16, нажав на рычажок реверсивного пускателя II в противоположном направлении, выключает электродвигатель. Цикл испытаний закончен. В зависимости от грузов, устанавливаемых на подвеске, можно создать нагрузку 167,5; 250; 500; 750; 1000; 3000 кг.

Диаметр шарика и величина нагрузки выбираются в зависимости от вида испытываемого материала и его толщины (при этом должен соблюдаться закон подобия:

$$P = K \cdot D^2$$

где $K = 30, 10$ или $2,5$) по таблице 3. По этой таблице выбирается и выдержка под нагрузкой в секундах.

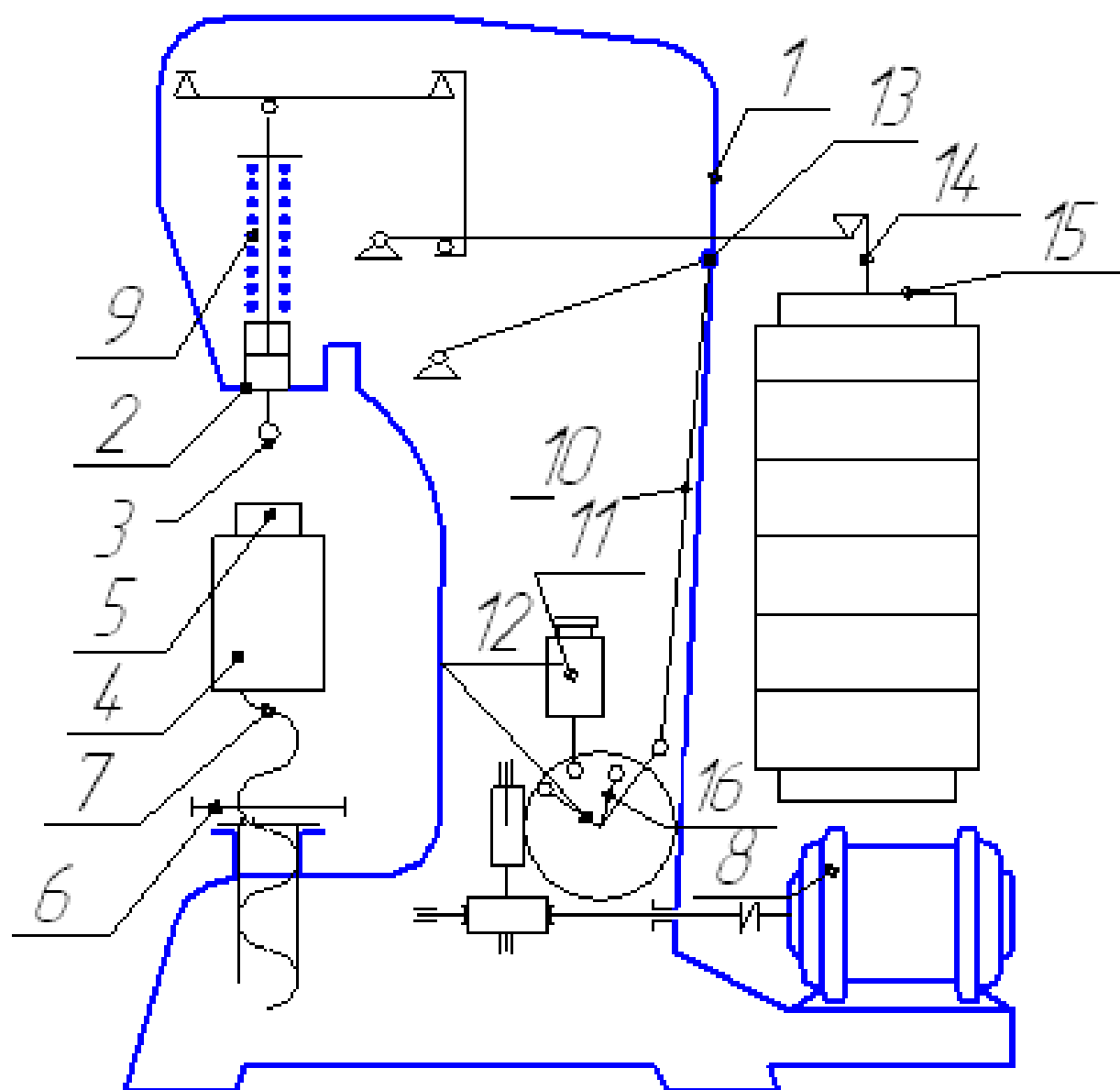


Рис.17 Схема пресса Бринеля

Таблица 3

Выбор диаметра шарика и нагрузки в зависимости от твердости и толщины испытываемого образца						
Материал	Интервал твердости в единицах Бринеля	Толщина испытываемого образца в мм	Соотношение между нагрузкой и диаметром шарика	Диаметр шарика в мм	Нагрузка в кг	Выдержка под нагрузкой в с
Черные металлы	140... 450	Более 6 От 6 до 3 Менее 3	P= 30DI	10 5 2,5	3000 750 187,5	10
Черные металлы	До 140	Более 6 От 6 до 3 Менее 3	P= 10 DI	10 5 2,5	3000 750 187,5	30
Цветные металлы	31,8... 130	Более 6 От 6 до 3	P= 10DI	10 5	1000 250	30
Цветные металлы	8...35	Не менее 6	P= 2,5DI	10	250	60

Выбранные условия испытания (диаметр шарика, нагрузку и время выдержки под нагрузкой) записать в соответствующие графы протокола испытания.

Перед испытание поверхность образца обрабатывается наждачным камнем, напильником или шлифовальной бумагой, таким образом, что бы она была чистой, ровной и гладкой. Это необходимо для получения правильного отпечатка, с хорошо видимыми при измерении краями.

Чтобы при вдавливании шарика не происходило продавливание материала, толщина его должна быть не менее десятикратной глубины отпечатка. Расстояние от центра до края образца должно быть не менее 2,5 диаметров отпечатка, а между центрами двух соседних отпечатков – не менее 4 диаметров отпечатков. Для получения правильных результатов диаметр отпечатка должен находиться в пределах 0,2-0,6 диаметра шарика.

Отпечаток измеряют с помощью отсчетного микроскопа с ценой деления 0,1 или 0,05 мм. Он состоит из окуляра и объектива, между которыми находится шкала. На четкую видимость шкалы настраиваются с помощью окуляра. Вращением маховичка, поднимая или опуская тубус микроскопа, добиваются резкости краев отпечатка и передвигая микроскоп, устанавливают его относительно отпечатка так, как показано на рис.18.

Для более точных показаний надо произвести второе измерение диаметра отпечатка повернув микроскоп на 90°, а потом подсчитать среднее арифметическое значение. Для определения твердости пользоваться таблицей на плакате.

Пресс Бринеля имеет широкое применение ввиду простоты, надежности, достаточно высокой точности испытания. Однако, в ряде случаев, применить его невозможно: нельзя испытывать закаленную сталь, имеющую твердость более 450 кгс/мм², так как будет деформироваться сам шарик и результаты измерения будут искажены. Невозможно испытывать изделия после физико-химической обработки – тонкие слои будут продавливаться. Крупные отпечатки могут привести деталь в негодность. Эти обстоятельства вызвали необходимость создания других приборов.

Измерение твердости по Роквеллу. Определение твердости производят вдавливанием в испытываемый образец алмазного конуса с углом 120° или стального шарика диаметром 1,588 мм(1/66").

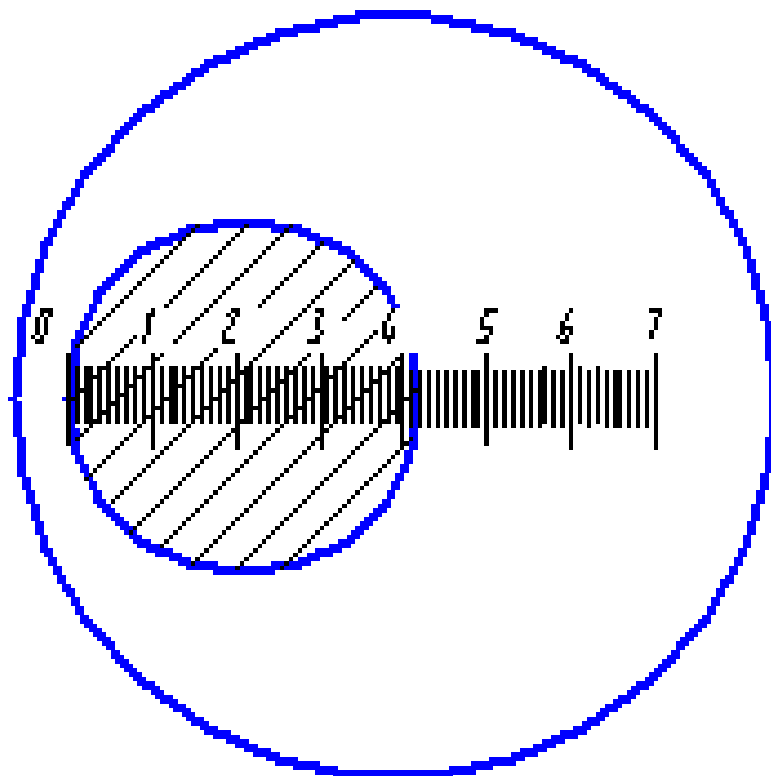


Рис.18 Отсчет по шкале лупы

Таблица 4

Обозначение шкалы	Цвет шкалы	Вид наконечника	Нагрузка в кгс	Обозначение твердости по Роквеллу	Примерная твердость испытываемого материала по Бринелю	Допустимые пределы шкалы
В	Красный	Стальной шарик диаметром 1,588 мм	100	HRB	60 ...230	25...100
С	Черный	Алмазный конус	150	HRB	230...700	20...67
А	Черный	Алмазный конус	60	HRB	Свыше 700	70...85

Величина твердости представляет собой разность между глубиной отпечатков, получаемых на испытываемых образцах от вдавливания алмазного конуса или стального шарика под двумя нагрузками определенной величины: предварительной - 10 кг и общей (предварительной и основной) - 60, 100 или 150 кгс.

Твердость по Роквеллу - число отвлеченное и выражается в условных единицах. В зависимости от того, чем и при какой из приведенных выше нагрузок производится испытание, т.е. по какой шкале (В, С или А), число твердости обозначается HRB, HRC или HRA. Приведенную ниже таблицу 4 (в особенности ее первые пять столбиков) надо знать наизусть.

Определение твердости на этом приборе имеет большое применение, так как позволяет испытывать как мягкие, так и самые твердые материалы, а так же поверхностные слои. Получающиеся отпечатки очень малы и не портят детали, испытание проводится очень быстро и величина твердости читается по шкале прибора без каких-либо измерений, пересчетов и применения таблиц.

Основное принципиальное отличие прибора Роквелла от прибора Бринеля заключается в том, что при способе Роквелла измерение производится не диаметра отпечатка, а глубины его. Для численной характеристики твердости введена условная шкала с цифрами, нанесенными в порядке, обратном движению стрелки в момент приложения груза, при этом при внедрении наконечника на 0,002 мм стрелка перемещается на одно деление. Таким образом, если стрелка сделает один оборот от начального положения, то конус или шарик внедрятся на 0,2 мм. Следовательно, чем больше углубление, тем меньше твердость.

На циферблате прибора имеются две шкалы: красная и черная. Красная шкала (HRB), используемая с шариком, смещена относительно нулевого деления черной шкалы на 30 делений против часовой стрелки. Установку стрелки на ноль всегда необходимо производить по черной шкале, независимо от того, по какой шкале производится измерение твердости.

Прибор Роквелла включает в себя следующие основные узлы и детали: стол 1, рычажную систему 2 с грузами 3, индикатор часового типа 4, пружину для предварительной нагрузки 5, обойму с соответствующим наконечником 6, двухступенчатый червячный редуктор 7, приводимый в движение от электродвигателя 8, с эксцентриком 9, обеспечивающим плавное опускание и подъем грузов (рис.19).

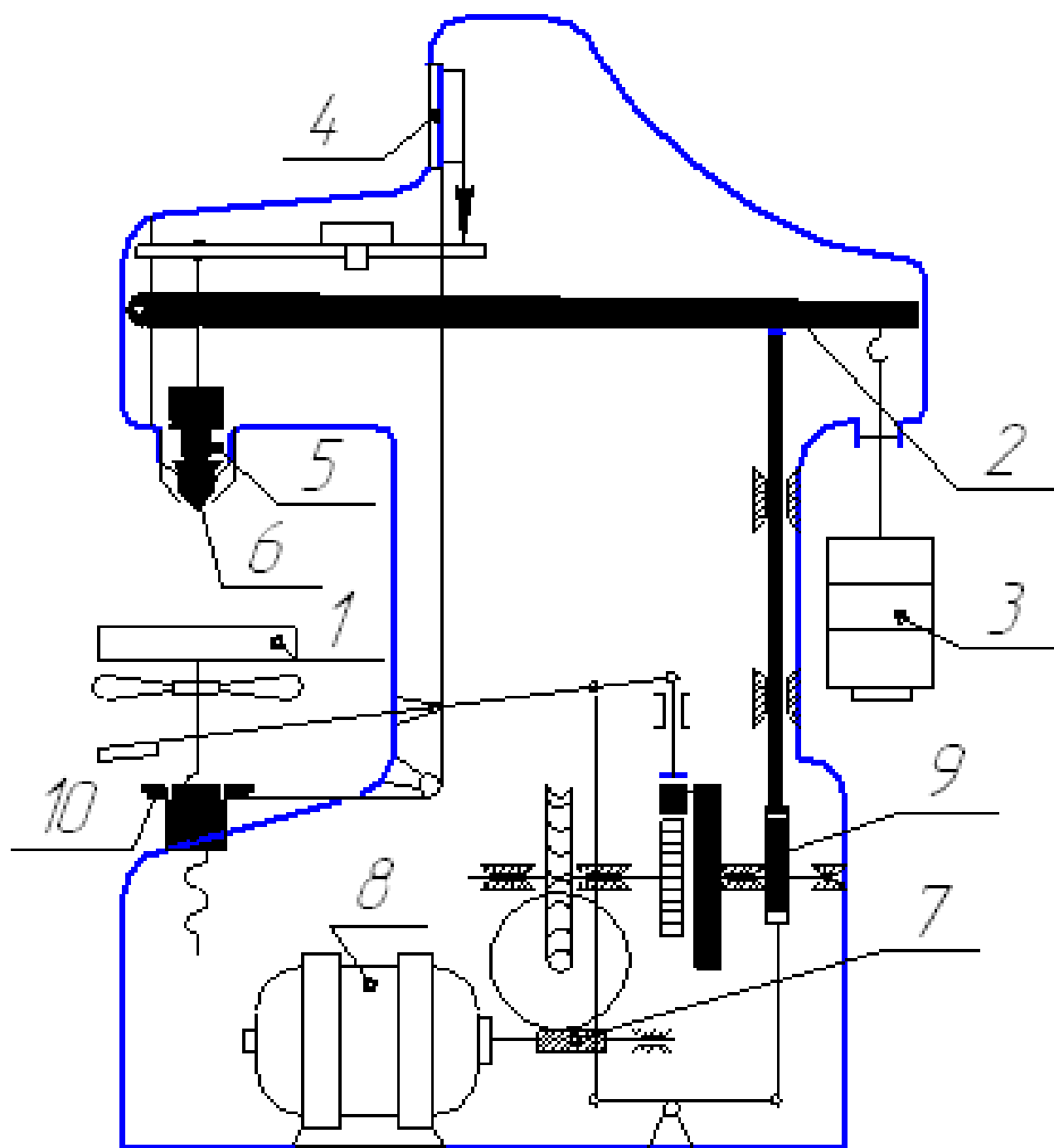


Рис.19 Схема прибора Роквелла

Порядок выполнения работы:

Измерение твердости на прессе Бринеля.

1. Установить на подвеску выбранные грузы.
2. Наконечник с выбранным шариком установить в шпиндель.
3. Установить образец на столик.
4. Вращая маховичок, создать предварительную нагрузку и включить двигатель, нажав на кнопку.
5. Измерить полученный отпечаток.
6. Определить твердость, подсчитав ее по формуле и сверив со значением твердости по таблице на плакате.

Измерение твердости на приборе Роквелла.

1. Установить на подвеску груз, соответствующий шкале, по которой производится испытание.
 2. Установить соответствующий наконечник.
 3. Установить на столик образец.
 4. С помощью тумблера на корпусе включить электродвигатель (загорится лампочка).
 5. С помощью маховичка поднять стол до соприкосновения наконечника с образцом (осторожно).
 6. Создать предварительную нагрузку, продолжая поднимать стол с образцом до совмещения маленькой стрелки с красной точкой на циферблате индикатора (Очень осторожно! Стрелка ни в коем случае не должна перейти за красную точку!). При этом пружина сжимается на величину, соответствующую 10 кгс. Большая стрелка прибора должна занять приблизительно вертикальное положение в верхней части циферблата.
 7. С помощью специального маховичка со шкивом 10 повернуть циферблат до совмещения нуля черной шкалы с большой стрелкой индикатора.
 8. Нажать на педаль прибора. Эксцентрик при этом делает один полный оборот, обеспечивая приложение и снятие нагрузки. Остановившаяся большая стрелка прибора указывает твердость образца по соответствующей шкале.
- Следует иметь в виду, что если на приборе Бринеля твердость получается в кгс/мм, то на приборе Роквелла она выражается в единицах соответствующей шкалы и размерности неимеет. Например, Н8С50, НВ 78, НКА82 и т.п.
9. Заполнить протоколы испытаний.

Протокол определения твердости по Бринелю

Материал образца	Толщина в мм	Диаметр шарика в мм	Нагрузка в кгс	Время выдержки под нагрузкой в с	1 измере-ние		2 измере-ние		3 измере-ние		Средняя твердость Нв
					Диаметр отпечатка в мм	Твердость , Нв	Диаметр отпечатка в, мм	Твердость , Нв	Диаметр отпечатка в мм	Твердость, Нв	

Протокол определения твердости по Роквеллу

Материал образца	Толщина в мм	Выбранная шкала	Твердость по Роквеллу				Твердость по Бринелю, полученная	
			1 замер	2 замер	3 замер	Среднее значение	переводом твердости по Роквеллу	испытанием (см. первый протокол)

Вопросы для самопроверки:

1. Как определить твердость по Бринелю, если отсутствует шарик стандартного размера?
2. Каковы стандартные размеры диаметров шариков и как выбирается нагрузка в зависимости от диаметра шарика?
3. Каков порядок проведения испытания твердости на прессе Вринеля?
4. Как пользоваться таблицей для определения твердости по Бринелю, если диаметр шарика равен 5 или 2,5 мм?
5. Что такое закон подобия и как он выражается?
6. В чем заключаются преимущества и недостатки прессы Вринеля?
7. В чем состоит принципиальное отличие между определением твердости по Роквеллу от определения твердости по Бринелю?
8. Чем отличаются шкалы на приборе Роквелла? Какие нагрузки и наконечники каким шкалам соответствуют?
9. Каков порядок при проведении испытаний твердости на приборе Роквелла?
10. В чем заключается преимущества прибора Роквелла перед прибором Бринеля?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКИХ ТОЧЕК И ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММ
СОСТОЯНИЯ МЕТОДОМ ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
(На примере диаграммы "олово-свинец")

Цель работы: Освоить методику построения кривых охлаждения металлов и сплавов, определения критических точек и построения по наведенным критическим точкам диаграмм состояния сплавов.

Задание: 1. Изучить основные положения во время подготовки к лабораторной работе.

2. Построить кривые охлаждения трех сплавов олова со свинцом разных концентраций и определить для каждого сплава критические точки.

3. По полученным критическим точкам и критическим точкам, заданным преподавателем, построить упрощенную диаграмму состояния "олово-свинец" (без учета линий ограниченной растворимости).

4. Пользуясь правилом отрезков определить количество жидкой и твердой фаз сплава заданной преподавателем концентрации при заданной температуре.

Примечание. Для упрощения термоанализа (более низкие температуры критических точек) выбрана диаграмма системы "олово-свинец" и в учебных целях, условно приравнена к диаграммам с полной нерастворимостью компонентов в твердом состоянии.

Оборудование и материалы:

1. Муфельная печь. 2. Пирометр. 3. Металлографический микроскоп. 4. Три тигля со свинцово-оловянистыми сплавами разной концентрации.

Основные положения:

Диаграмма состояния сплавов - это графическое изображение изменения фазового и структурного состояния сплавов в зависимости от их концентрации и температуры.

Она нужна для теоретических и практических целей. С ее помощью можно установить температуру литья сплавов, температуру нагрева сплава для того или иного вида термической обработки и др.

Для построения диаграмм чаще всего используется термический метод (существуют магнитный, электрический, теплоемкостный и др.).

Основоположником физико-химических методов исследования металлов и сплавов является русский ученый Н.С.Курнаков.

Термический метод основан на том, что изменения в состоянии сплавов вызывают изменение юс свойств. При переходе сплава из одного состояния в другое (из жидкого в твердое, перекристаллизации) физические свойства изменяются скачкообразно и сопровождаются поглощением или выделением тепла. Температуры, при которых происходят эти изменения, называются критическими, а соответствующие им точки на кривых нагрева или охлаждения - критическими точками.

Чтобы найти, при каких температурах совершается выделение (или поглощение) тепла, надо через короткие одинаковые промежутки времени, например, 30 с, измерять с помощью пирометра температуру охлаждающегося (нагревающегося) металла или сплава,

а потом отобразить изменения температуры в виде кривой в координатах "температура-время" (рис. 20). На кривой (такой вид имеют кривые охлаждения чистых металлов и эвтектических сплавов, о чем будет сказано ниже) точка "а" - начало кристаллизации, точка "в" - конец ее. В течение времени "ав" температура не падает за счет бурного выделения тепла кристаллизации, компенсирующего отвод тепла от тигля в окружающую среду. В точке "в", когда затвердевание закончится, т.е. жидкость превратится в кристаллы, будет наблюдаться дальнейшее плавное понижение температуры. Точки "а" и "в" критические точки начала и конца затвердевания. У чистых металлов они равны, поэтому мы считаем, что у чистых металлов одна критическая точка кристаллизации (затвердевания).

Для измерения температуры пользуются пирометром, собранным по схеме, приведенной на рис.21. Пирометр – это термоэлектрический прибор, состоящий из термопары и гальванометра. Шкалу гальванометра можно проградуировать в градусах Цельсия, тогда он будет показывать не ЭДС, а температуру сплава.

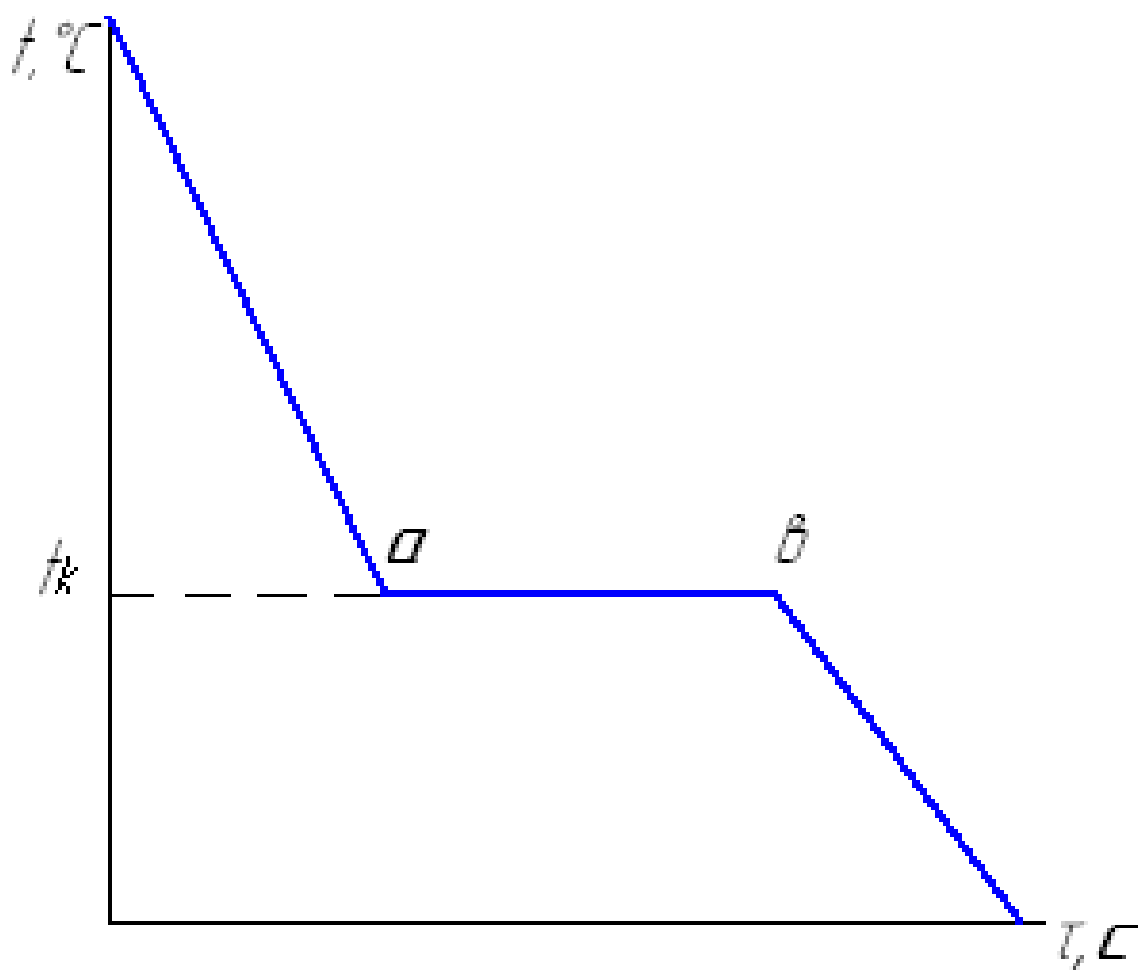


Рис.20 Кривая охлаждения

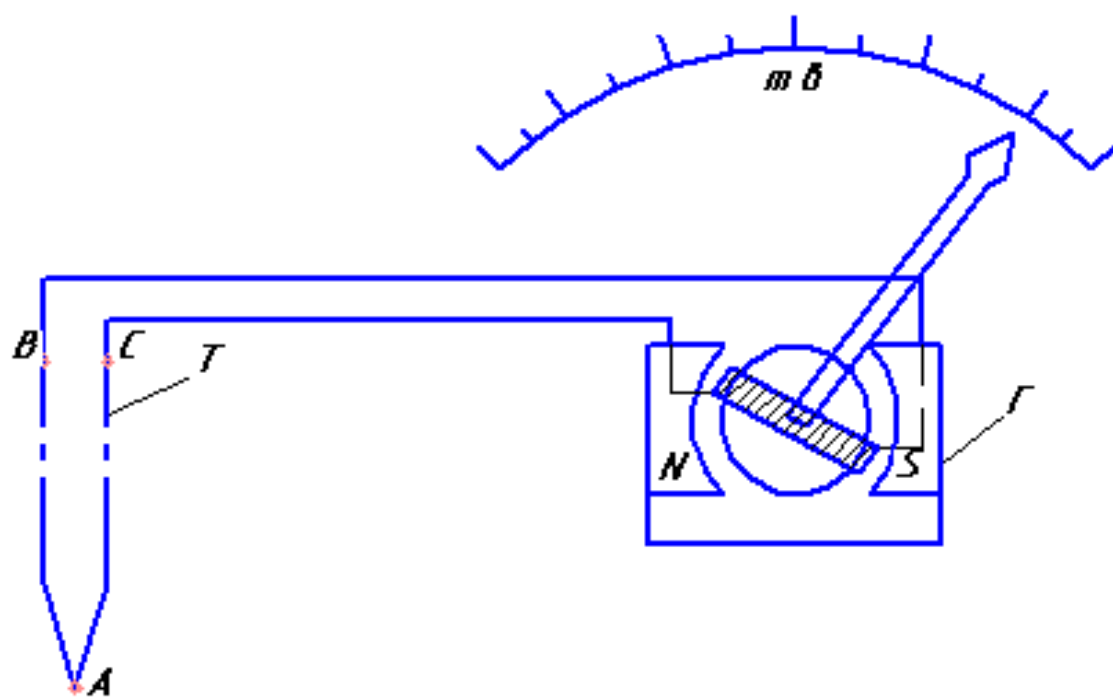


Рис.21 Схема пирометра

Термопара представляет собой две различные металлические проволоки АС и АВ, концы которых в точке А свариваются (горячий спай), а другие концы (точки С и В) соединяются проводами с гальванометром (холодный спай).

При нагреве горячего спаия в цепи появляется термоток (ЭДС), обусловленный совершающимся при диффузии электронов превращением энергии теплового движения в энергию электрического поля. Чем выше температура нагрева, тем больше ЭДС.

Существует много термопар. Наиболее распространенные: медь-константановая, применяемая для измерения температур от -200 до +400°С; никхромо-константановая (до 800°С); хромель-алюмелевая ТХ (до 950°С); платино-платинородиевая (до 1200-1600°С). После построения ряда кривых охлаждения сплавов различной концентрации изучаемой системы и кривых охлаждения чистых металлов, входящих в изучаемую систему, а также определения критических точек (рис.22) приступают к построению диаграммы состояния сплавов.

Диаграмма состояния - это чертеж, который строится в координатах "температура-концентрация". По оси абсцисс откладывается процентное содержание компонентов, образующих систему, а по оси ординат откладывается температура критических точек сплавов, входящих в систему (рис.23). Полученные точки соединяют плавными линиями (рис.24).

Линия АСВ соответствует началу затвердевания сплава и называется линией ликвидус. Линия ДСЕ соответствует концу затвердевания сплава и называется линией солидус. Сплав, затвердевающий при самой низкой температуре с образованием механической смеси двух фаз, одновременно кристаллизующихся из жидкости, называется эвтектикой. Левее точки С сплавы называются доэвтектическими, а правее точки С - заэвтектическими.

Для анализа кривых охлаждения применяют правило фаз (правило Гиббса), которое выражается Формулой

$$C = K - \Phi + 1$$

где: С - число степеней свободы, т.е. число внешних факторов (температура и концентрация), которые можно изменять без изменения числа фаз в сплаве;
К - число компонентов (в системе "олово-свинец" К=2: олово и свинец);
Φ - число фаз.

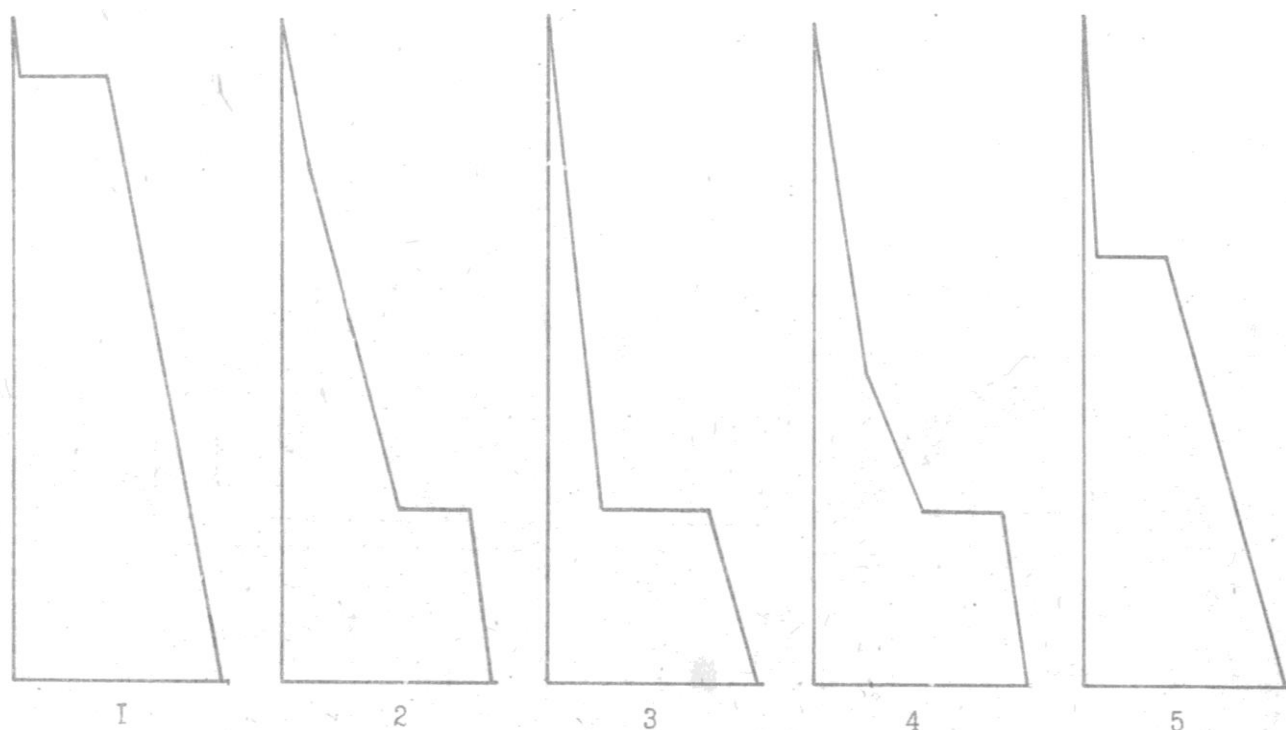


Рис.22. Кривые охлаждения сплавов (2, 3 и 4) и чистых металлов (I и 5).

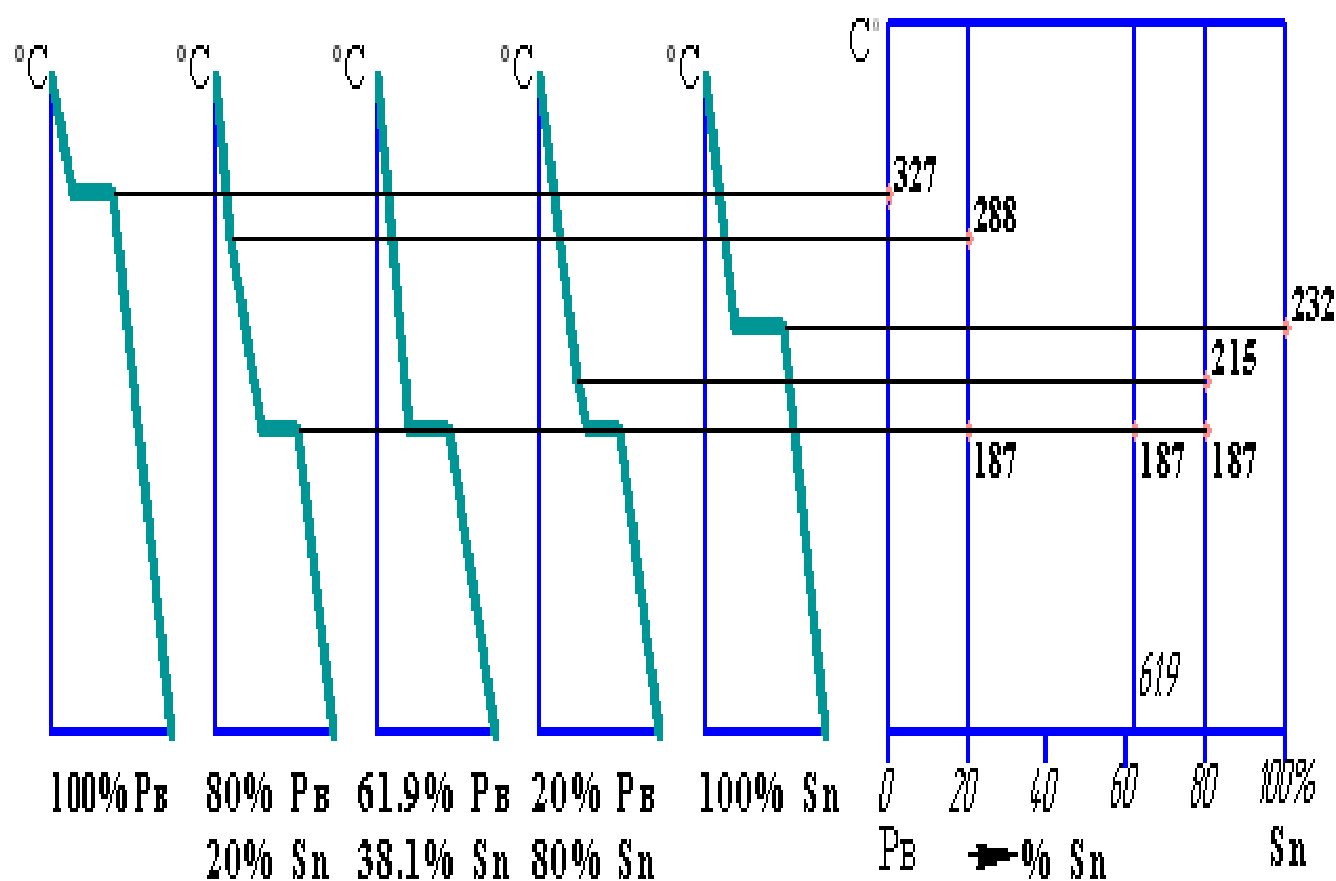


Рис.23

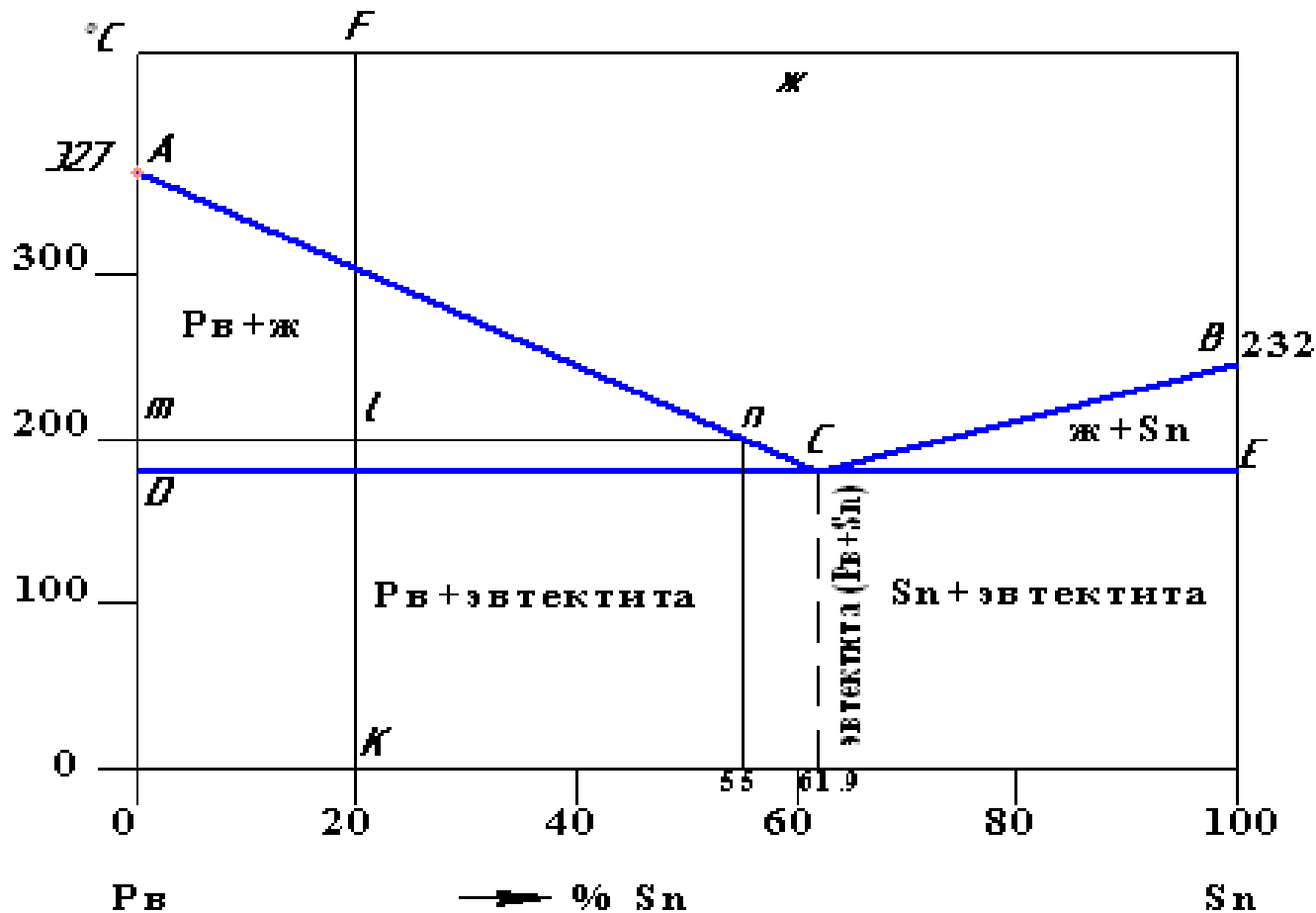


Рис.24 Упрощенная диаграмма состояния «свинец-олово»

Фазой называется химически однородная часть сплава, отделенная от других его частей поверхностью раздела. Фазами могут быть химические элементы, химические соединения, жидкости и твердые растворы. Например, механическая смесь Pb+Sn (эвтектика) - двухфазная система.

Рассмотрим и проанализируем процесс кристаллизации эвтектического сплава с применением правила Гиббса. Выше точки С сплав находится в жидком состоянии, следовательно имеется одна фаза, поэтому $C = 2 - 1 + 1 = 2$. При двух степенях свободы может изменяться температура и концентрация, а сплав будет оставаться однородным жидким. Кривая охлаждения будет круто опускаться вниз до точки С, где жидкий сплав начинает кристаллизироваться. При этом, согласно кривой охлаждения, температура в течение некоторого времени остается постоянной, не падает. Объясним это явление с помощью правила Гиббса ($C = K - \Phi + 1$). Число компонентов $K = 2$; число фаз $\Phi = 3$, так как одновременно образуются кристаллы свинца и олова (2 фазы) плюс жидкий сплав, из которого они кристаллизуются (еще 1 фаза). Следовательно, число степеней свободы $C = 2 - 3 + 1 = 0$, т.е. ни концентрация, ни температура не изменяются, а тепла при кристаллизации выделяется столько, что оно полностью компенсирует потерю тепла, отходящего в окружающую тигель среду. Поэтому, пока не закончится кристаллизация, температура будет оставаться постоянной (горизонтальный отрезок кривой охлаждения).

Когда кристаллизация закончится, жидкий сплав исчезнет, поэтому останется только две фазы, число степеней свободы $C = 2 - 2 + 1 = 1$, так как $K = 2$ и $\Phi = 2$. При одной степени свободы независимой переменной является только температура. Кривая охлаждения ниже точки C опускается полого вниз.

Также с помощью правила Гиббса можно объяснить кривую охлаждения чистого металла. Только при этом $K = 1$, а в момент кристаллизации $\Phi = 2$, а число степеней $C = 0$ ($C = 1 - 2 + 1 = 0$).

При кристаллизации доэвтектического или заэвтектического сплава между линиями ликвидус и солидус кривые охлаждения плавно опускаются, так как согласно правилу Гиббса имеется только одна степень свободы ($C = 2 - 2 + 1 = 1$), а при одной степени свободы переменной является температура.

Правилом отрезков (правилом рычага, как его иногда называют) пользуются для определения процентного и весового состава жидкой и твердой фаз или двух различных твердых фаз (количество структурных составляющих и их концентраций). Разобраться в этом лучше на примере.

Пример. Требуется определить количество твердой и жидкой фаз сплава, содержащего 80% свинца и 20% олова, при температуре 200°C . Другими словами необходимо определить количество закристаллизовавшегося свинца и еще незатвердевшей жидкости при температуре 20°C .

На линию заданного сплава FK наносим точку b соответствующую 200°C . Проводим горизонтальную линию mn через эту точку (так называемую каноду). Получается два отрезка ml и ln . Их соотношение обратно пропорционально процентному или весовому содержанию фаз, к которым эти отрезки прилегают, т.е.

$$\frac{ml}{ln} = \frac{Q_{ж}}{Q_{тв}},$$

где $Q_{ж}$ - количество жидкой фазы;

$Q_{тв}$ - количество твердой фазы.

Иными словами: количество искомой фазы равно отношению отрезка, противолежащего этой фазе, ко всему отрезку.

$$Q_{ж} = \frac{ml}{mn} \cdot 100\% ; Q_{тв} = \frac{ln}{mn} \cdot 100\%$$

(На 100% умножаем для того, чтобы получить искомую фазу в процентах).

В нашем случае поступим следующим образом. Опускаем перпендикуляры из точек l , m , n на ось концентрации (это поможет нам определить длины отрезков nl , ml , и mn , так как ось концентраций выполнена в масштабе) Тогда

$$Q_{ж} = \frac{ml}{mn} \cdot 100\% = \frac{20}{55} \cdot 100\% \approx 36,4\%$$

$$Q_{тв} = \frac{ln}{mn} \cdot 100\% = \frac{55 - 20}{55} \cdot 100\% = 63,6\%$$

$Q_{тв}$ можно было, правда, вычислить и иначе

$$Q_{тв} = Q_{общ} - Q_{ж} = 100\% - 36,4\% = 63,6\%$$

Сплав:свинец...%

Олово...%		
№ п/п	Время охлаждения	Температура сплава в °С
1	0	380
2	30	372
3	...	...

Порядок выполнения работы:

1. Получить у преподавателя (лаборанта) сплавы, подлежащие исследованию, поместить их в тигли, засыпать сверху активированным углем (флюс, необходимый для уменьшения окисления сплава при нагреве).

2. Поместить сплавы в печь, нагреть до температуры не менее 350°C.

3. Провести поочередно термический анализ исследуемых сплавов (металлов), собрав установку, показанную на рис.21. Показания пирометра записывать через 30 с в таблицу по следующей форме.

Примечание. Таблицы составить для всех исследуемых сплавов отдельно.

4. По полученным температурным точкам построить кривые охлаждения в координатах "температура-время".

5. По перегибам кривых и температурным остановкам определить критические точки каждого сплава.

6. Получив у преподавателя величины критических точек остальных сплавов (металлов) построить диаграмму состояния системы "свинец-олово" (в учебных целях считая, что свинец и олово обладают полной нерастворимостью друг в друге, см. примечание выше).

7. На построенной диаграмме, определить по правилу отрезков количество жидкой и твердой фаз для заданного преподавателем сплава при заданной температуре.

8. Для заданного сплава диаграммы используя правило Гиббса построить и объяснить кривую охлаждения.

Вопросы для самопроверки:

1. Какое оборудование и приборы необходимо иметь для построения кривой охлаждения сплава?

2. Как устроен пирометр и в чем принцип его работы?

3. Каков порядок построения кривой охлаждения сплава?

4. Что называется критической точкой сплава?

5. Чем объясняются горизонтальные участки на кривых охлаждения сплавов и чистых металлов?

6. Что такое диаграмма состояния сплавов?

7. Что такое эвтектический сплав.

8. О чем говорит правило фаз (правило Гиббса)?

9. Что можно определить с помощью правила отрезков?

10. Как читается правило отрезков?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8 ИЗУЧЕНИЕ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗО-ЦЕМЕНТИТ

Цель работы: Ознакомить студентов со структурами железоуглеродистых сплавов в равновесном состоянии, их месте на диаграмме состояния, превращениями, происходящими при разных температурах.

Задание: 1. Изучить значение всех линий, точек и областей диаграммы состояния железо-цементит, ее фазы и структуры.
2. Изучить превращения в сплавах с различным содержанием углерода при охлаждении (нагревании).
3. Научиться применению правила фаз при построении кривых охлаждения сплавов в разных областях.
4. Научиться применению правила отрезков для определения процентного и весового состава фаз, составляющих сплав.

Оборудование и материалы: Электрифицированный стенд "Диаграмма состояния "Железо-цементит" и кривые охлаждения сплавов этой диаграммы".

Основные положения:

Диаграмма железо-цементит является основой для понимания процессов, происходящих при нагревании и охлаждении железоуглеродистых сплавов (сталей и чугунов). Под равновесным состоянием сплава понимается состояние, при котором все фазовые превращения в сплаве полностью закончились в соответствии с диаграммой состояния.

Такие состояния наступают только при медленном охлаждении. Поэтому основой для определения фаз и структурных составляющих железоуглеродистых сплавов в равновесном состоянии является диаграмма железо-цементит.

В практически применяемых сплавах железа с углеродом, содержание углерода не превышает 5%. Поэтому диаграмму состояния железо-углерод рассматривают с содержанием углерода не до 100%, а до 6,67%, что соответствует содержанию углерода в цементите. Такую диаграмму обычно называют диаграммой состояния железо-цементит ($\text{Fe} - \text{Fe}_3\text{C}$). Ниже приведена диаграмма состояния железо-цементит в упрощенном виде (рис.25). В сплавах железа с углеродом происходят превращения не только в процессе кристаллизации, но также и в твердом состоянии, вследствие аллотропических и эвтектоидного превращений, а также ограниченной растворимости углерода в α - и γ -железе.

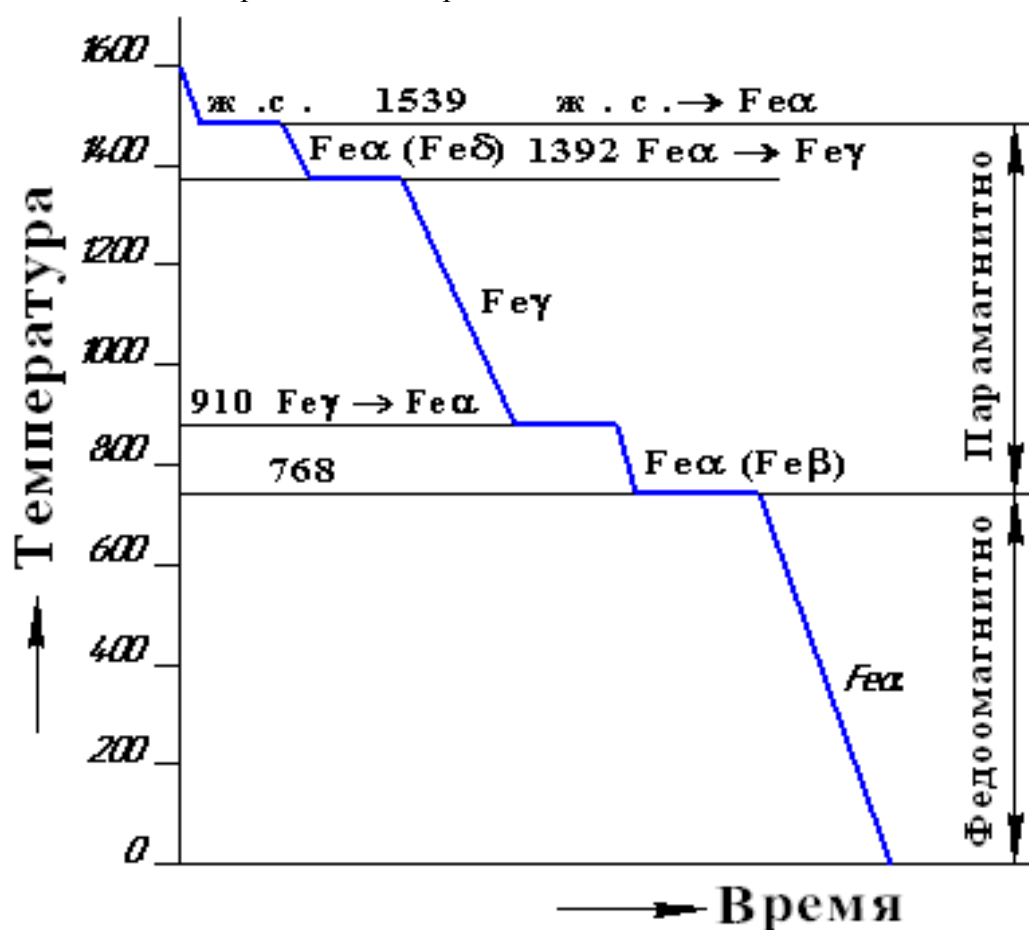
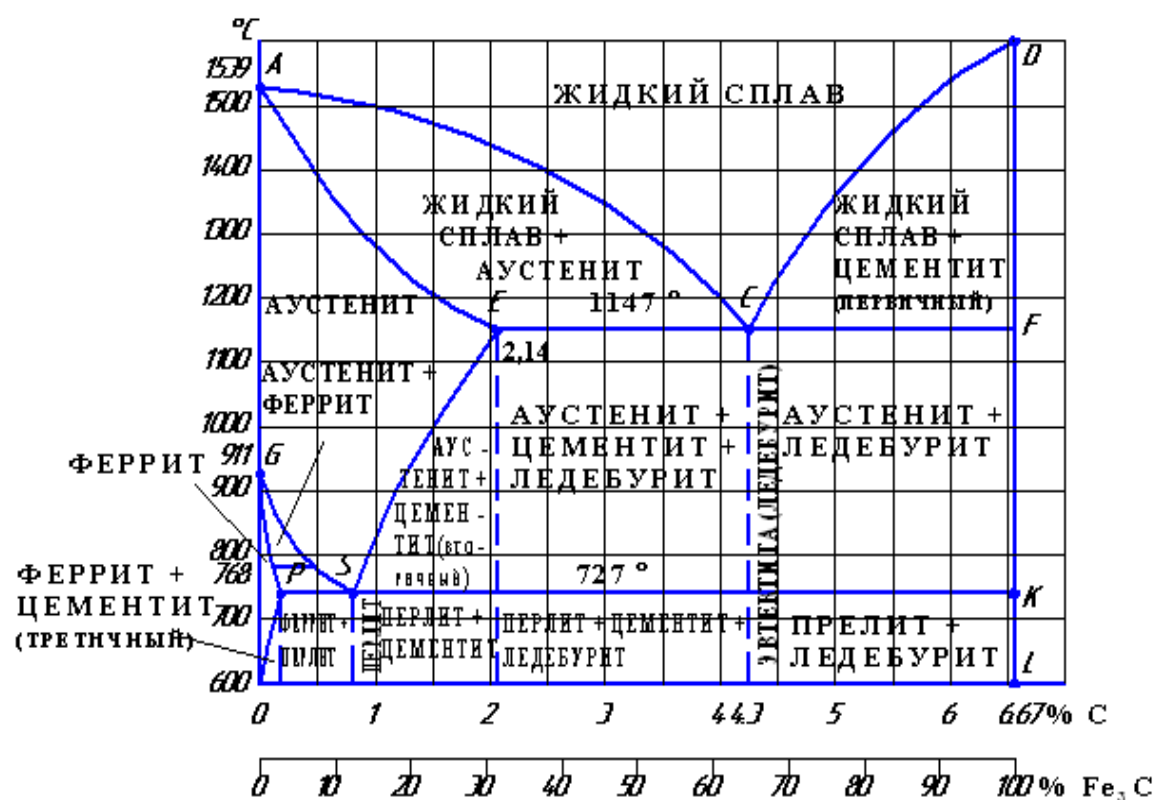
Основные характеристики компонентов системы "Железо-углерод". Железо - металл серебристо-серого цвета, очень пластичный, с удельным весом $7,8 \text{ г/см}^3$ и температурой плавления 1539°C . Чистое железо содержит 0,01% примесей. Железо имеет несколько аллотропических модификаций. При комнатной температуре железо имеет кристаллическую решетку объемноцентрированного куба. Такое железо обладает сильно выраженными магнитными свойствами. При температуре 768°C железо теряет магнитные

свойства. Кристаллическая решетка при этом не меняется, изменяются только параметры кристаллической решетки. При температуре 910°C происходит аллотропическое превращение железа (рис.26). Кубическая объемноцентрированная решетка переходит при этой температуре в кубическую гранецентрированную решетку. Такое железо обозначается Fe_{γ} в отличие от предшествующего Fe_{α} . При этом свойства железа меняются: оно приобретает особую пластичность, высокую вязкость, увеличивается способность растворять углерод, но остается немагнитным. При температуре 1392°C происходит второе аллотропическое превращение железа. Гранецентрированная кубическая решетка γ -железа ВНОВЬ

переходит в объемноцентрированную кубическую решетку α -железа. Эту решетку - иногда называют δ -железом и обозначают Fe_{δ} (оно немагнитно). При температуре 1539°C железо плавится.

Температура плавления 3500°C . Углерод имеет три аллотропических модификации: алмаза, графита и угля. В железоуглеродистых сплавах углерод присутствует в виде графита только в серых чугунах. Чаще всего в железоуглеродистых сплавах углерод встречается в виде твердых растворов внедрения в α - и γ -железе, а также в виде химического соединения Fe_3C - цементита (карбида железа).

Аустенит (А) - твердый раствор внедрения углерода в γ -железе. Аустенит имеет кубическую гранецентрированную решетку. Растворимость углерода в γ -железе зависит от температуры. Чем выше температура, тем больше растворимость. Максимальная растворимость углерода в γ -железе равна 2,14% при температуре 1147°C . Растворимость при температуре 727°C равна 0,8%. Если в стали углерода меньше, то меньше его будет и в аустените.



Феррит (Ф) - твердый раствор внедрения углерода в α -ЖЕЛЕЗО. Феррит имеет кубическую объемноцентрированную кристаллическую решетку. Максимальная растворимость углерода в α -железе равна 0,02% при температуре 727°C; при комнатной температуре растворимость 0,006%.

Из приведенных данных следует, что растворимость углерода в γ -железе значительно больше, чем в α -железе (примерно в 40 раз), при температуре 727°C. Это объясняется различной плотностью упаковки атомов в кристаллических решетках ОЦК и ГЦК.

Цементит (Ц) (карбид железа) - химическое соединение железа с углеродом, содержащее 6,67% углерода. Он обладает металлическим блеском, сложной кристаллической решеткой, отличающейся от кристаллических решеток железа и графита, теплои электропроводностью, слабыми магнитными свойствами, высокой твердостью (НВ 800 кг/мм²).

Перлит (Д) - эвтектоидная механическая смесь, состоящая из двух фаз: феррита и цементита. Образуется при превращении аустенита определенного состава (0,8% углерода) при температуре 727°C. Содержание углерода в перлите для всех железоуглеродистых сплавов всегда постоянно и равно 0,8%. Эвтектоид назван перлитом, так как после травления стали, содержащей 0,8% углерода, появляется перламутровый блеск.

Ледебурит (Л) - эвтектическая смесь, образующаяся из жидкой фазы определенного состава (4,3% углерода). При температуре 1147°C-727°C ледебурит состоит из двух фаз - аустенита и цементита. Ниже 727 С, когда аустенит переходит в перлит, ледебурит состоит из перлита и цементита, т.е. также из двух фаз - феррита и цементита. Содержание углерода в ледебурите всегда постоянно и равно 4,3%.

Значения точек и линий диаграммы «железо-цементит». Каждая точка диаграммы состояния характеризует строго определенный состав сплава при соответствующей температуре.

Обозначение точки	Температура при нагреве	Предельная концентрация углерода в %	Определение
A	1539	0	Температура плавления железа
C	1147	4,3	Состав эвтектики - ледебурита
Д	1600	6,67	Температура плавления цементита
Е	1147	2,14	Предельная растворимость углерода в γ -железе
G	911	0	Аллотропическое превращение γ -железа в δ -железо и обратно
S	727	0,8	Состав эвтектоида - перлита
P	727	0,02	Предельная растворимость углерода в γ -железе
O	20	0,006	Максимальная растворимость углерода в γ -железе при комнатной температуре

Линия АСД - линия ликвидус. Выше этой линии все железоуглеродистые сплавы находятся в жидком состоянии, представляющем собой жидкий раствор (жидкую фазу).

Линия АЕСF - линия солидус. Ниже этой линии все сплавы находятся в твердом состоянии.

Линии АС и ДС показывают температуру начала первичной кристаллизации аустенита (АС) и первичного цементита (ДС).

При выделении из жидкой фазы кристаллов аустенита состав жидкой фазы будет обогащаться углеродом и по мере понижения температуры изменяться по линии АС. Состав твердой фазы (аустенита) при этом будет изменяться по линии АЕ.

При выделении из жидкой фазы кристаллов цементита состав ее будет обедняться углеродом и с понижением температуры изменяться по линии ДС, состав твердой фазы (цементита) остается постоянным, равным 6,67% углерода.

При достижении температуры 1147°C состав жидкой фазы для любого сплава, расположенного между концентрациями от точки Е (2,14% углерода) до точки Р (6,67% углерода) будет соответствовать точке С (4,3% углерода).

При этой температуре оставшаяся часть жидкой фазы данного состава (4,3% углерода) закристаллизуется, с образованием эвтектической механической смеси, содержащей то же количество углерода, что и жидкость, т.е. 4,3% углерода. Эта эвтектика называется ледебуритом. Она состоит из аустенита состава точки Е (2,14% углерода) и цементита, содержащего 6,67% углерода.

Для составов, расположенных левее точки С, в избытке будет находиться аустенит и структура их после затвердевания будет состоять из первичных кристаллов аустенита и ледебурита. Для сплавов, расположенных правее точки С, в избытке будет находиться цементит, поэтому структура этих сплавов после затвердевания состоит из первичных кристаллов цементита и ледебурита.

Структура сплава, содержащего 4,3% углерода будет состоять из одного ледебурита (эвтектика). По всей длине линии ECP образуется ледебурит, поэтому она называется линией эвтектического превращения.

Сплавы, расположенные ниже линии EA, после окончания процесса кристаллизации (область AESG) имеют структуру одного аустенита. Линии GS и ES показывают температуры начала вторичной кристаллизации. Для сплавов, лежащих левее точки 3, при понижении температуры (ниже линии O/Y) из аустенита будут выпадать кристаллы феррита, для сплавов, расположенных правее точки, при понижении температуры из аустенита будут выпадать кристаллы вторичного цементита.

Состав аустенита при понижении температуры будет все время меняться. Для сплавов, лежащих левее точки обогащаться углеродом и изменяться по линии 05; для сплавов, лежащих правее точки 5, обедняться углеродом и изменяться по линии SE.

При понижении температуры до 727°C (линия PSK) состав аустенита, для всех сплавов, содержащих углерода более 0,02%, будет соответствовать точке S (0,8% углерода). При этой температуре аустенит будет превращаться в эвтектоидную механическую смесь, содержащую 0,8% углерода и состоящую из феррита и цементита, которая называется перлитом.

Линия PSK (линия перлитного или эвтектического превращения) показывает температуру образования перлита и температуру конца вторичной кристаллизации сплавов, содержащих углерода более 0,02%.

Сплавы, расположенные левее точки S, в избытке будут содержать феррит. Структура таких сплавов ниже температуры эвтектоидного превращения будет состоять из феррита и перлита (от 0,02 до 0,8% углерода). При содержании углерода в сплаве 0,02% (точка P) и ниже структура сплава будет состоять из одного феррита. С увеличением содержания углерода в сплаве количество феррита будет уменьшаться, а количество перлита увеличиваться и структура сплава, содержащего 0,8% углерода (точка S) ниже температуры 727°C будет состоять из одного перлита.

В сплавах, расположенных правее точки S и ниже линии PSK в избытке будет находиться цементит. С увеличением содержания углерода количество цементита будет расти. Структура этих сплавов будет состоять из вторичного цементита и перлита (от 0,8 до 2,14% углерода); перлита, вторичного цементита и ледебурита (от 2,14 до 4,3% углерода); ледебурита (4,3% углерода); первичного цементита и ледебурита (от 4,3 до 6,67% углерода).

Вторичный цементит для сплавов, содержащих углерода 4,3% и более, входит в состав ледебурита и не является самостоятельной структурой.

Сплавы железа с углеродом, в которых в результате "первичной кристаллизации в равновесных условиях получается аустенитная структура, называют сталями. Следовательно, сталь – это железоуглеродистые сплавы с содержанием углерода до 2,14%.

Сплавы с содержанием углерода более 2,14%, в которых в конце кристаллизации образуется эвтектика (ледебурит), называют чугунами. Следовательно, чугун - это железоуглеродистые сплавы с содержанием углерода более 2,14%.

Стали, содержащие углерода менее 0,8%, имеют структуру феррита и перлита и называются доэвтектоидными. Стали, содержащие углерода от 0,8 до 2,14%, имеют структуру феррита и цементита и называются заэвтектоидными. Сталь, содержащая 0,3% углерода, имеет структуру перлита и называется эвтектоидной.

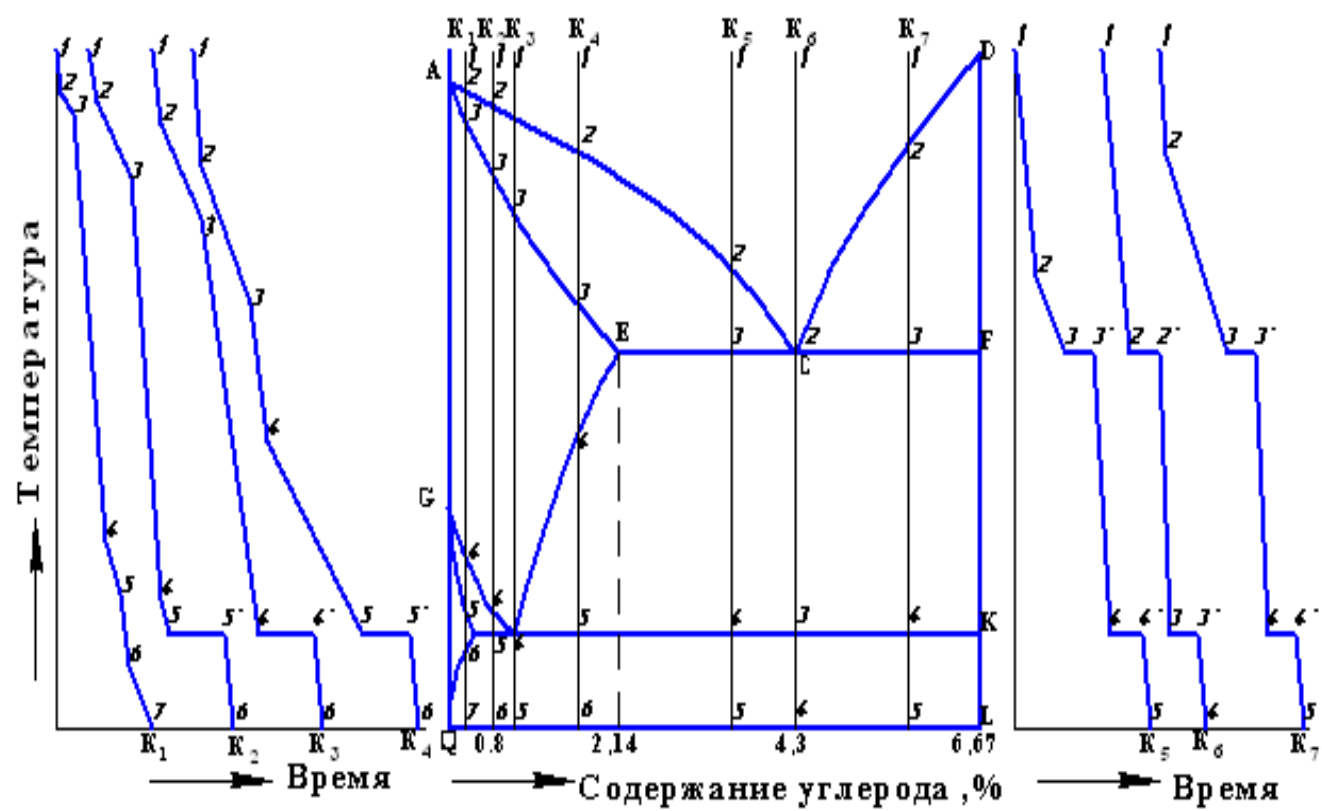


Рис.27

Таблица 5

Сплав	Температура превращения при охлаждении	Процессы, происходящие при охлаждении сплава	Конечная микроструктура и схема ее зарисовки
I	2	3	4
H ₁ Менее 0,008% углерода	1... 2	Охлаждение жидкого сплава.	
	2... 3	Выделение из жидкого сплава кристаллов аустенита: Ж.С. → А.	
	3... 4	Охлаждение аустенита.	 Феррит и третичный цементит
	4... 5	Выделение из аустенита кристаллов феррита: А → Ф.	
	5... 6	Охлаждение феррита.	
	6... 7	Выделение из феррита третичного цементита: Ф → Ц _т .	
H ₂ От 0,02 до 0,8% углерода	1... 2	Охлаждение жидкого сплава.	
	2... 3	Выделение из жидкого сплава кристаллов аустенита: Ж.С. → А.	

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4
K_2 от 0,02 до 0,8% углерода	3... 4	Охлаждение аустени- та.	Феррит и перлит 
	4... 5	Выделение из аусте- нита кристаллов феррита: $A \rightarrow \Phi$.	
	5... 5'	Эвтектоидное прев- ращение: $A \rightarrow \Pi$.	
	5'... 6	Выделение из ферри- та третичного це- ментита: $\Phi \rightarrow \Pi_{III}$.	
K_3 0,8% углерода	1... 2	Охлаждение жидкого сплава.	 Перлит
	2... 3	Выделение из жидко- го сплава кристал- лов аустенита: $\text{Ж.Ф.} \rightarrow A$	
	3... 4	Охлаждение аустени- та.	
	4... 4'	Эвтектоидное прев- ращение: $A \rightarrow \Pi$.	
	4'... 5	Выделение из ферри- та третичного це- ментита: $\Phi \rightarrow \Pi_{III}$.	
K_4 от 0,8 до 2,14% углерода	1... 2	Охлаждение жидкого сплава.	 Перлит и вторичный цементит
	2... 3	Выделение из жидко- го сплава кристал- лов аустенита: $\text{Ж.Ф.} \rightarrow A$.	
	3... 4	Охлаждение аустени- та.	
	4... 5	Выделение из аусте- нита кристаллов вторичного цемента- та: $A \rightarrow \Pi_{II}$.	
	5... 5'	Эвтектоидное прев- ращение: $A \rightarrow \Pi$.	
	5'... 6	Выделение из ферри- та третичного це- ментита: $\Phi \rightarrow \Pi_{III}$.	
K_5 (K_7)	1... 2	Охлаждение жидкого сплава.	
	2... 3	Выделение из жидко-	

I	2	3	4
От 2,14 до 4,3% углерода (От 4,3 до 6,67% углерода)	3... 3'	го сплава кристаллов аустенита (первичного цементита): $Ж.Ф. \rightarrow A (Ж.Ф. \rightarrow C_1)$	Перлит, вторичный цементит и ледебурит 
	3'... 4	Эвтектическое превращение: $Ж.Ф. \rightarrow Л.$ Выделение из аустенита кристаллов вторичного цементита: $A \rightarrow C_1$.	
	4... 4'	Эвтектоидное превращение: $A \rightarrow П.$	Первичный цементит и ледебурит
	4'... 5	Выделение из феррита третичного цементита: $Ф \rightarrow C_3$.	
К ₆ 4,3% углерода	1... 2	Охлаждение жидкого сплава.	
	2... 2'	Эвтектическое превращение: $Ж.Ф. \rightarrow Л.$	
	2'... 3	Выделение из аустенита кристаллов вторичного цементита: $A \rightarrow C_1$.	
	3... 3'	Эвтектоидное превращение: $A \rightarrow П.$	
	3'... 4	Выделение из феррита третичного цементита: $Ф \rightarrow C_3$.	

Чугуны, содержащие от 2,14 до 4,3% углерода, имеют структуру перлита, вторичного цементита и ледебурита и называются доэвтектическими. Чугуны, содержащие от 4,3 до 6,67% углерода, имеют структуру первичного цементита и ледебурита и называются заэвтектическими. Чугун, содержащий 4,3% углерода, имеет структуру ледебурита и называется эвтектическим.

На рисунке,27 показана диаграмма состояния системы "Железо-цементит" и кривые охлаждения. Описание процессов, протекающих в сплавах при их охлаждении из жидкого состояния приведено в таблице 5.

Вопросы для самопроверки:

1. Какие аллотропические модификации имеет чистое железо?
2. Что такое феррит и какое количество углерода, он может растворять при температурах 727 и 0°C?
3. Что такое аустенит и какое количество углерода он может растворять при температурах 1147 и 727°C?
4. Что такое перлит и какое количество углерода он содержит?
5. Что такое ледебурит и какое количество углерода он содержит?
6. Что отличает ледебурит при температурах выше и ниже 727°C?
7. Какую структуру имеют доэвтектоидные, эвтектоидные и заэвтектоидные стали при комнатной температуре?
8. Какую структуру имеют доэвтектические, эвтектические и заэвтектические белые чугуны при комнатной температуре?
9. Как определяется химический состав жидкой и твердой фазы сплава при заданной температуре?
10. Почему линия PSK диаграммы состояния "железо-цементит" называется линией эвтектичного превращения?
11. Почему линия ECF диаграммы состояния "железо-цементит" называется линией эвтектического превращения?
12. Что происходит на линиях GS и SE диаграммы состояния?
13. Как определяется содержание углерода в доэвтектоидной стали?
14. Как при наличии диаграммы состояния "железо-цементит" построить кривую охлаждения для заданного сплава?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

АНАЛИЗ МИКРОСТРУКТУРЫ ЧУГУНОВ

Цель работы: Изучить микроструктуру чугунов и выявить зависимость химического состава, условий получения структуры и свойств белых, серых, ковких и высокопрочных чугунов. По изготовленному шлифу определить тип чугуна.

Задание: 1. Изучить связь между структурами белых чугунов и диаграммой состояния "железо-цементит" в области чугунов.

2. Изучить условия получения серых, высокопрочных и ковких чугунов, их свойства и применение.

3. Рассмотреть под микроскопом, зарисовать и описать микроструктуры чугунов.

4. Изготовить три микрошлифа различных чугунов протравить их, рассмотреть под микроскопом, определить их микроструктуру и зарисовать.

Оборудование и материалы:

1. Диаграмма состояния "Железо-цементит" (стенд или плакат).
2. Металлографический микроскоп.
3. Комплект образцов микрошлифов чугунов.
4. Заготовки для изготовления микрошлифов.
5. Комплект материалов, необходимых для приготовления микрошлифов.

Основные положения:

Сплав железа с углеродом, содержащий свыше 2,14% углерода, который в процессе окончательной кристаллизации образует ледебурит, называется чугуном. В зависимости от скорости охлаждения, содержания примесей и последующей обработки получают белые, серые, ковкие или высокопрочные чугуны.

Белые чугуны. В белом чугуне весь углерод находится в связанном состоянии в виде химического соединения - цементита Fe_3C , твердого и хрупкого. Белый чугун получают в условиях ускоренного охлаждения отливок и при малом содержании графитизирующих элементов. Отбеливанию чугуна способствуют марганец, вольфрам, молибден, хром, ванадий. Белый чугун получается в сложных условиях. Он практически не поддается механической обработке, поэтому он применяется в качестве передельного чугуна для получения стали или ковкого чугуна.

Согласно диаграмме состояния железо-углерод белые чугуны могут быть доэвтектическими, эвтектическими и заэвтектическими. Характерной структурной составляющей белых чугунов является ледебурит - цементитная эвтектика.

Доэвтектические белые чугуны содержат от 2,14 до 4,3% углерода. На рис.28 показана структура доэвтектического белого чугуна. Темные большие участки шлифа - перлит. Участки с точечными темными включениями - ледебурит. Вторичный цементит, выделившийся из аустенита, находится в виде светлых включений и игл.

Эвтектический белый чугун содержит 4,3% углерода. На рис.29 показана структура эвтектического чугуна. Она содержит 100% ледебурита и представляет собой

механическую смесь перлита и цементита. Перлит в ледебурите темный, цементит - светлый.

Заэвтектический белый чугун содержит от 4,3 до 6,67% углерода. Структура заэвтектического белого чугуна (рис.30) состоит из первичного цементита, выпавшего из жидкости, и ледебурита. Участки с точечными темными включениями - ледебурит.

Серые чугуны. В серых чугунах большая часть углерода находится в состоянии графита. Процесс выделения графита в сплавах железа с углеродом называется графитизацией. На процесс графитизации влияет скорость охлаждения отливки и химический состав чугуна. Охлаждение серого чугуна ведется медленно. Графит выделяется в виде пластин. Графитизации чугуна способствуют кремний, алюминий, никель, медь, поэтому практически в применяемых серых чугунах всегда содержится от 1,5 до 3,5 кремния. Графитные включения благоприятно влияют на литейные свойства чугуна, уменьшая его усадку и увеличивая его жидкотекучесть и сильно ухудшают механическую прочность, так как являясь непрочным неметаллическими включениями графитные пластинки разобщают металлическую основу чугуна. При рассмотрении под микроскопом полированной поверхности микрошлифа серого чугуна, хорошо видны включения пластинчатого графита (рис. 31). Светлое поле - металлическая основа.

По структуре металлической основы серые чугуны подразделяются на следующие группы.

Перлитные серые чугуны (рис.32). Они имеют структуру, состоящую из перлита, (основное темное поле) и графита (темные крупные пластинки). Этот чугун в отливке обладает максимальной прочностью и достаточно хорошей обрабатываемостью резанием.

Перлитно-ферритные серые чугуны (рис.33). Они имеют структуру, состоящую из перлита (темные участки в форме отпечатков пальцев), феррита (светлые участки) и графита (крупные завитые пластинки). Графит и феррит залегают вместе, так как они являются продуктом распада цементита. Этот чугун обладает более низкой прочностью, но лучше обрабатывается резанием.

Ферритные серые чугуны. Они имеют ферритно-графитную структуру. Они имеют низкую твердость и износостойкость.

Наибольшее применение в машиностроении, вследствие высоких литейных и других технологических свойств, имеют серые перлитные и перлитно-ферритные чугуны. Однако, вследствие низкой прочности и хрупкости их применение в деталях машин, работающих на усталость, ограничено. Малая прочность и пластичность серых чугунов является следствием наличия графита в виде крупных пластин, образующих как бы надрезы. Чем меньше будут пластинки графита, тем выше будут механические свойства чугуна. Механические свойства чугуна определяются соотношением феррита и перлита в структуре, а также формой, величиной и степенью равномерности распределения графитных включений.

Если вместо пластинчатой формы графита в чугуне графит будет иметь округлую форму, то надрезы исчезнут и в значительной степени повысятся прочность и пластичность чугуна.

Модифицированный серый чугун. Им называется чугун, полученный в результате модифицирования. Модифицирование – процесс регулирования величины и формы зерна в сплаве путем добавки в жидкий сплав (в ковш перед разливкой) специальных присадок - модификаторов. Модификаторы образуют центры кристаллизации и препятствуют росту зерна. В практике применяют два метода модифицирования чугуна. Оба метода служат для регулирования формы, количества и размеров графитных включений.

Первый метод. Присадкой служит лигатура, состоящая из 65% ферросилиция и 35% вторичного алюминия. Эта лигатура вводится в жидкий чугун в количестве 0,3-0,4%

от веса. В результате модифицирования таким способом в структуре отливки графит приобретает мелкопластинчатую форму, что резко повышает прочность чугуна.

Второй метод. Присадкой служит магний в количестве 0,2-0,3% -от веса жидкого чугуна и ферросилиций. В результате двойного модифицирования графит получается шаровидной формы. Такой чугун называется высокопрочным. Структура его (рис.34) состоит из перлита (темный фон) и шаровидного графита (черные пятна), окруженного Ферритом (светлые участки). Высокопрочный чугун имеет высокие механические свойства, близкие свойствам стали и может применяться для изготовления деталей, работающих с переменными нагрузками.

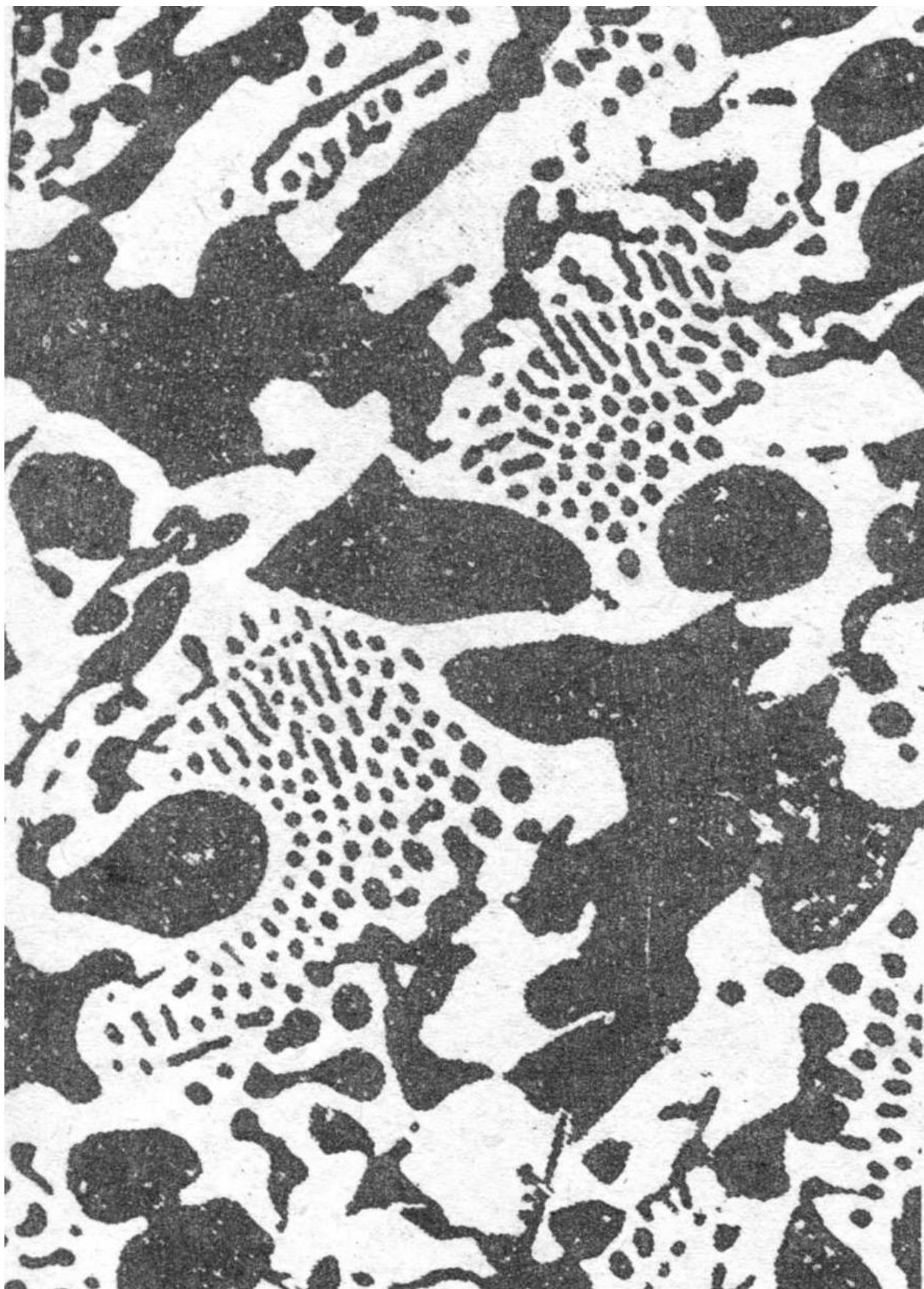


Рис.28 Микроструктура доэвтектического чугуна

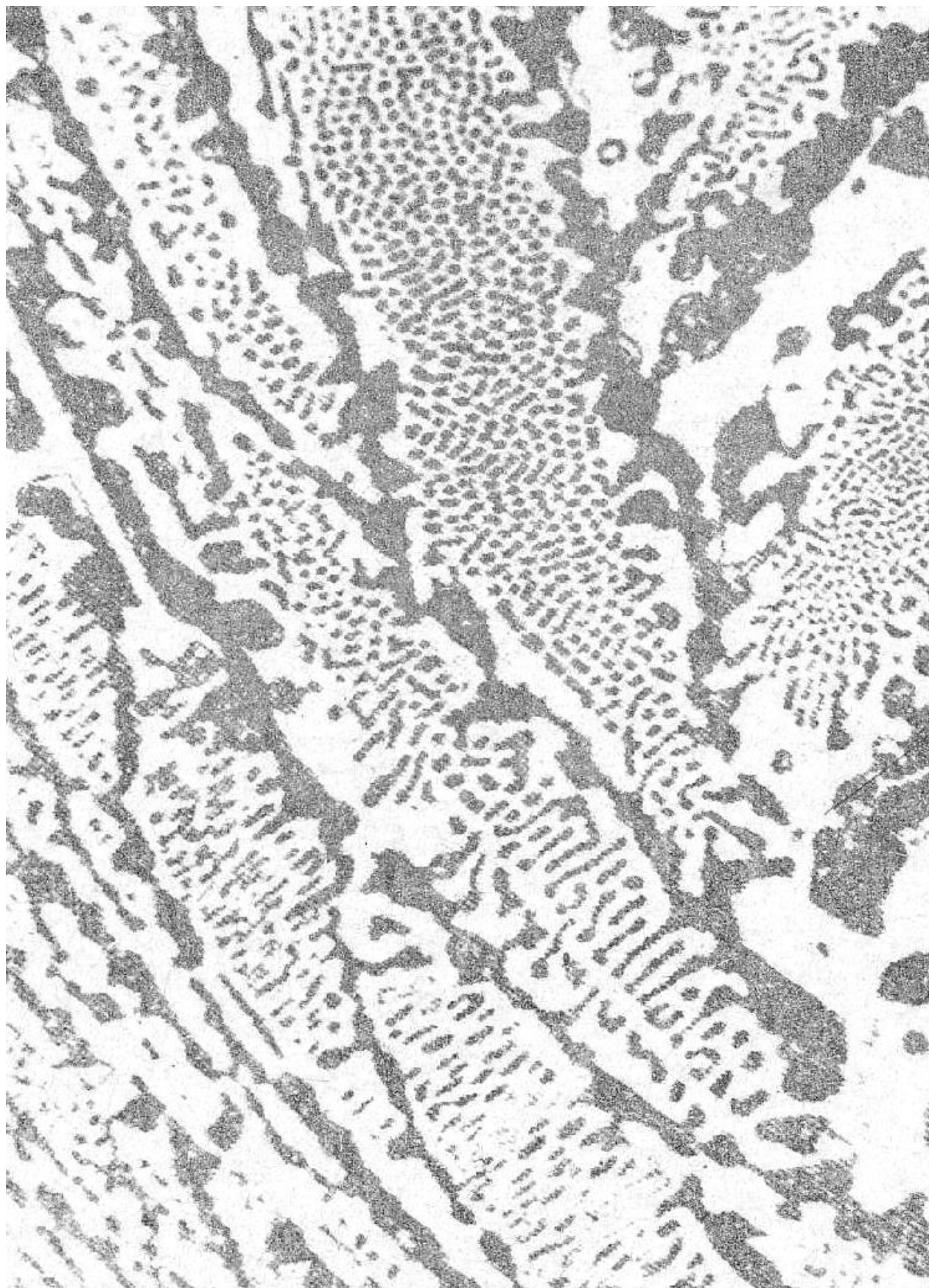


Рис.29 Микроструктура эвтектического белого чугуна

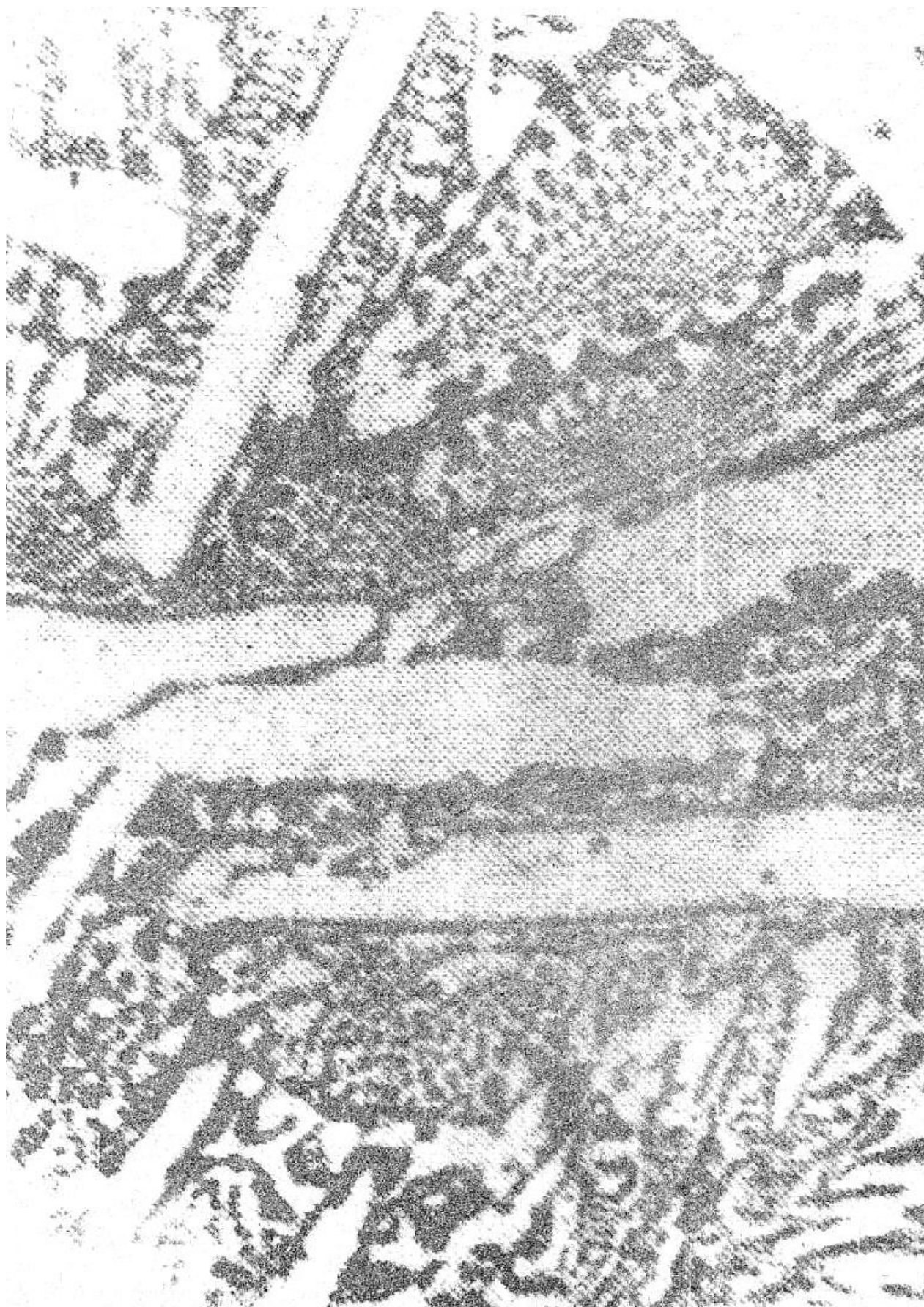


Рис.30 Микроструктура эвтектического белого чугуна

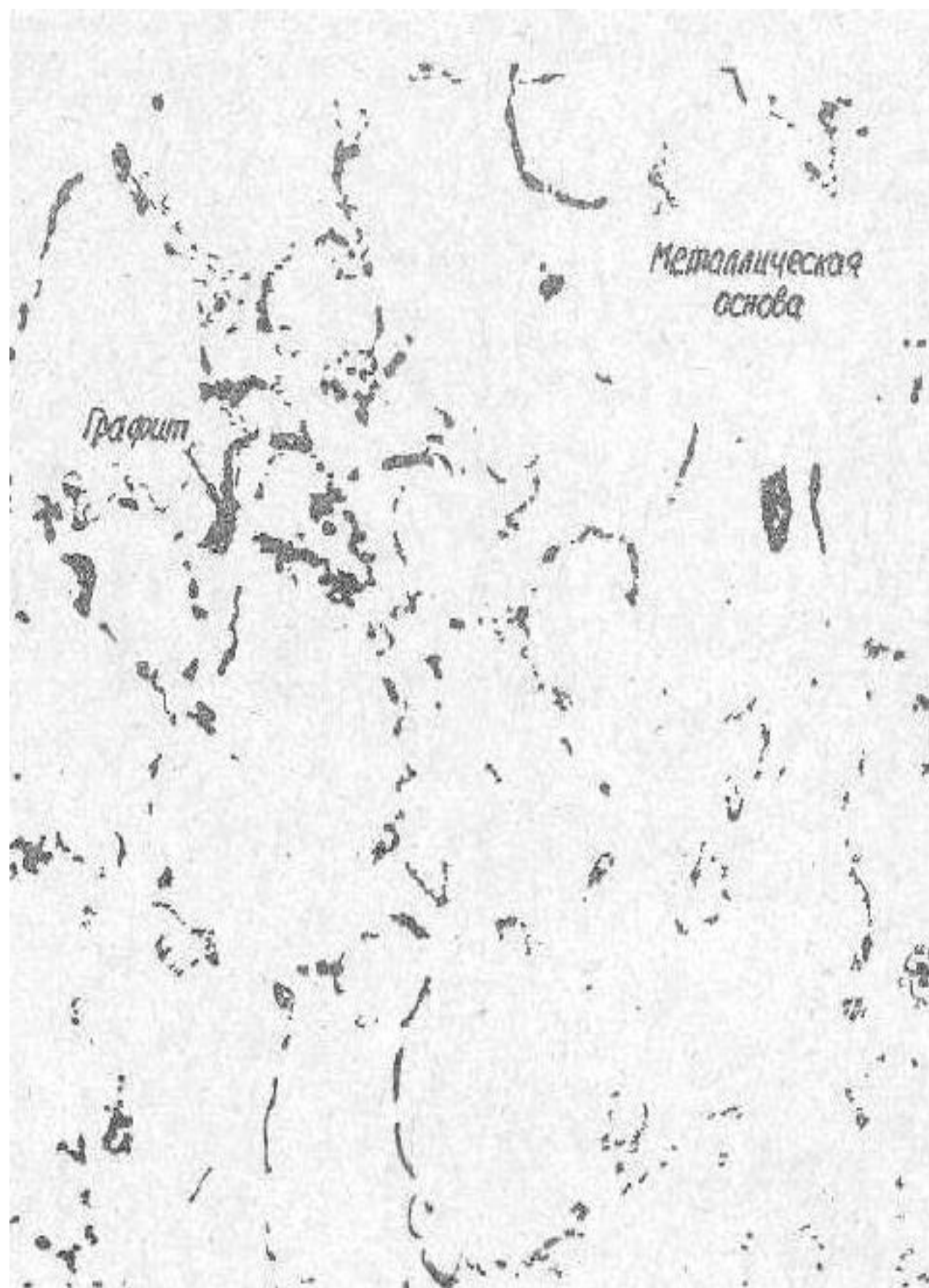


Рис.31 Полированная поверхность микрошлифа серого чугуна



Рис.32 Микроструктура перлитного серого чугуна



Рис.33 Микроструктура перлитно-ферритного серого чугуна

Ковкий чугун. Ковкий чугун получается из белого дозвтектического чугуна (2,2-3,0% углерода) путем отжига при температуре 900-1000°C. Время отжига колеблется от 50 до 100 часов. В процессе отжига происходит разделение цементита с выделением графита хлопьевидной формы на перлитной, перлитно-ферритной или ферритной основе. На рис.35 показана структура ферритного ковкого чугуна. Основной светлый фон - зерна феррита, темные округлые включения - графит отжига. В настоящее время применяют ускоренный отжиг на ковкий чугун, при котором отливка перед отжигом подвергается закалке 880-950°C в воде или масле. Графитизация закаленных чугунов протекает значительно, быстрее (за 14-30 часов), так как при закалке образуется большое количество центров кристаллизации. Ковкий чугун по сравнению с серыми чугунами имеет большую вязкость, хорошо сопротивляется разрыву и ударной нагрузке. Он находит широкое применение в сельскохозяйственном машиностроении для изготовления пальцев режущего аппарата комбайнов, кронштейнов и т.п.

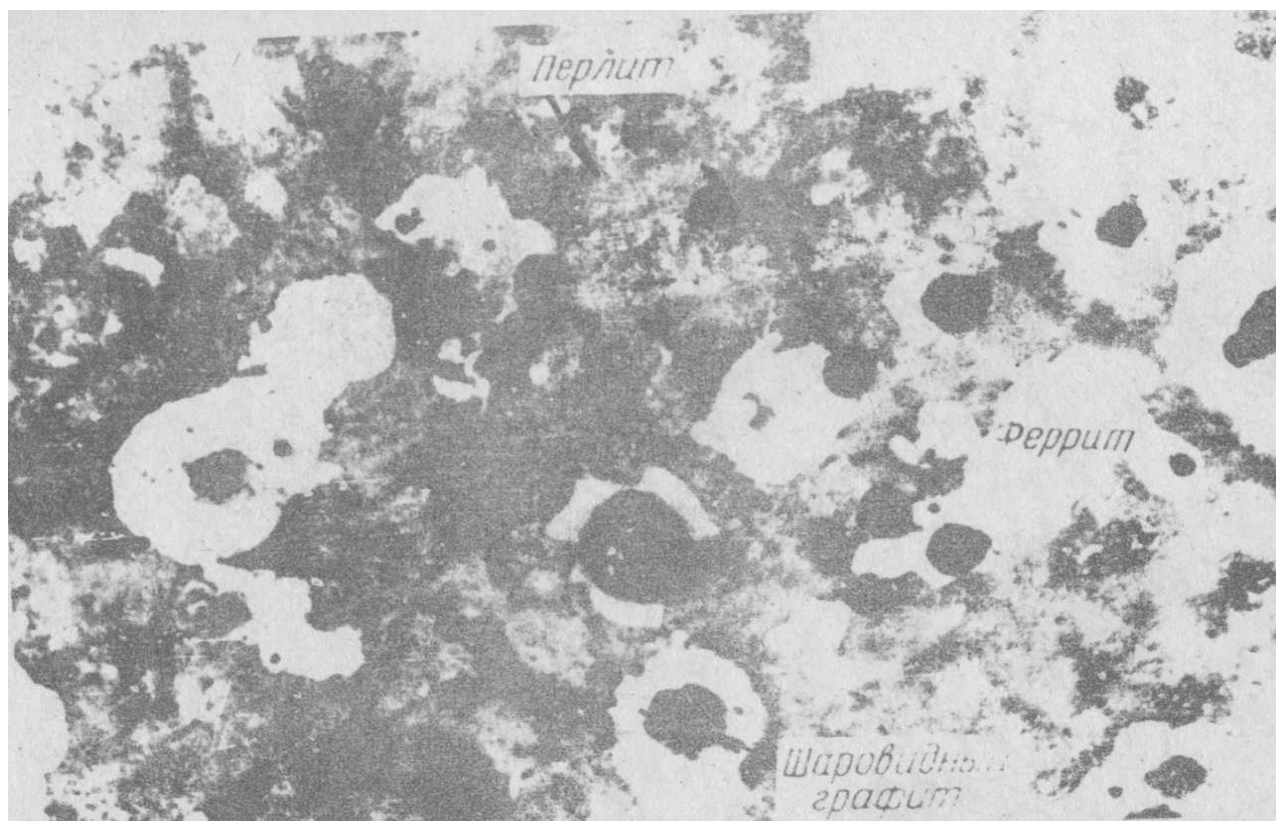


Рис.34 Микроструктура микрошлифованного серого чугуна

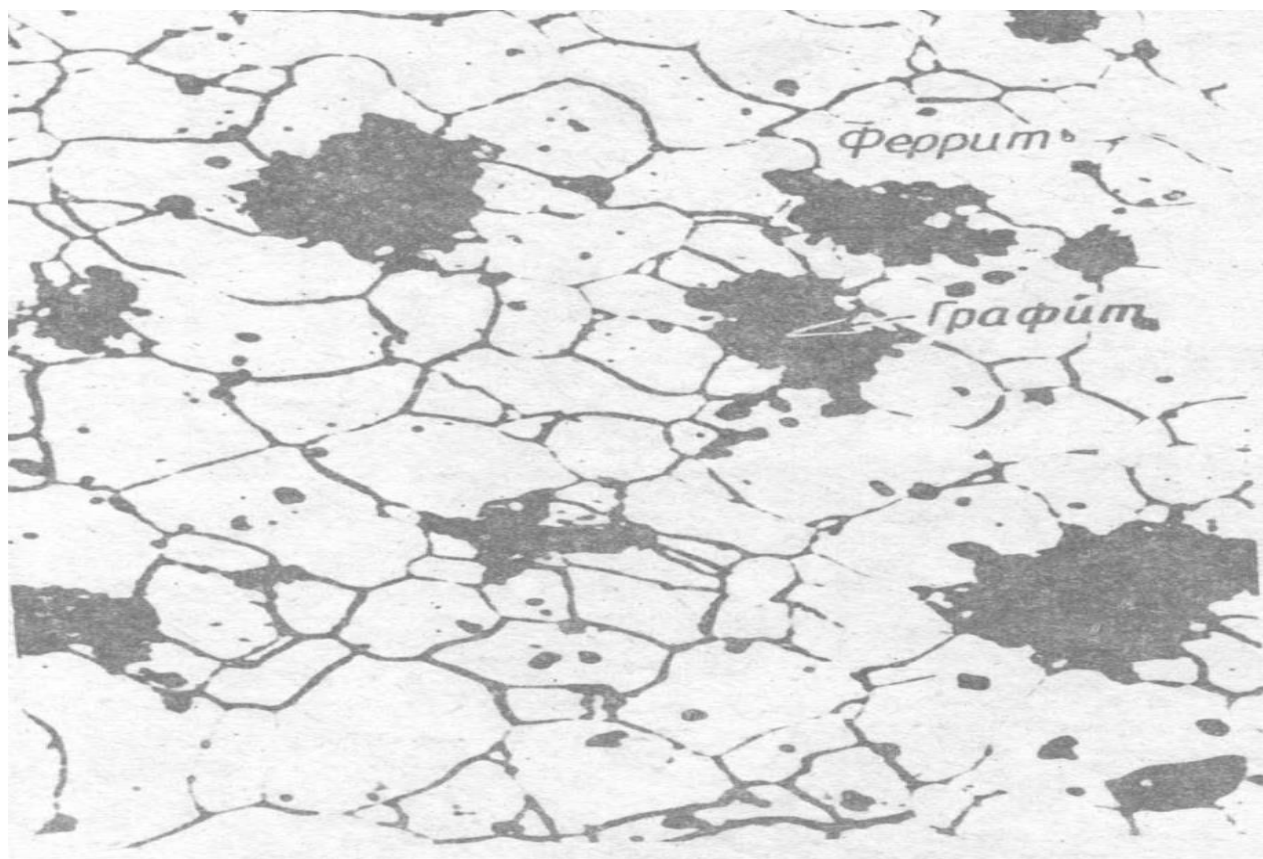


Рис.35 Микроструктура ковкого чугуна

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с различными видами чугунов выяснить, разницу между ними и выделить характерные структурные составляющие для каждого вида чугуна. Основные сведения о каждом виде чугуна записать в отчет.

2. Просмотреть и изучить микроструктуру трех образцов белого чугуна. Установить по структуре какой из образцов является доэвтекктическим, эвтекктическим и заэвтекктическим чугуном.

3. Просмотреть и изучить микроструктуру серых и ковких чугунов. Обратить внимание на форму графитных включений для разных видов чугунов.

4. Приготовить микрошлифы образцов, выданных преподавателем (лаборантом).

5. Протравить микрошлифы и под микроскопом определить к каким видам чугунов они относятся.

6. Зарисовать и описать полученную микроструктуру. На рисунке стрелками указать наименование структурных составляющих.

Вопросы для самопроверки:

1. Что такое белые чугуны?

2. Какова микроструктура - белых чугунов?

3. Перечислить разновидности серых чугунов.

4. Какова микроструктура серых чугунов?

5. В чем особенности модифицированных чугунов?

6. Каковы способы получения модифицированных чугунов и какова их микроструктура?

7. Как получают ковкие чугуны и какова их микроструктура?

8. Как ускоренным способом получить ковкий чугун?

9. Где применяется ковкий чугун?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №10

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОКА СТАЛЕЙ

И ИХ МИКРОСТРУКТУРА ПОСЛЕ ТЕРМООБРАБОТКИ

Цель работы: Изучение и освоение основных операций термической обработки стали.
Изучение микроструктуры стали после термообработки.

Задание: Изучить основные положения. Уяснить какому виду термической обработки (и после каких видов обработки) подвергаются разные стали.

Оборудование и материалы:

1. Образцы, подлежащие закалке (выдает преподаватель).
2. Набор материалов, необходимых для изготовления микрошлифов.
3. Металлографический микроскоп.
4. Муфельная печь.
5. Закалочные среды.
6. Клещи.
7. Прибор Роквелла.

Основные положения:

Термообработкой металлов называется совокупность операций, связанных с нагревом, выдержкой и последующим охлаждением, с целью изменения структуры и создания необходимых свойств (твердости, прочности, износостойкости, хорошей обрабатываемости резанием и т.д.).

В развитии термической обработки большую роль сыграли работы русского ученого-металлурга Д.К.Чернова, положившего начало изучению превращений, происходящих в металле при переходе структуры через критические точки.

К основным операциям термической обработкой стали относятся: отжиг, нормализация, закалка и отпуск.

Отжиг стали. Отжигом называется процесс термической обработки, при котором сталь нагревают до определенной температуры, выдерживают при этой температуре и затем медленно охлаждают, как правило, в печи. Отжиг применяют для снятия внутренних напряжений, повышения пластичности, улучшения обрабатываемости режущим инструментом, снижения твердости и других целей. В зависимости от температуры нагрева и назначения различают следующие основные виды отжига (рис. 36): полный, неполный (на зернистый перлит), диффузионный (гомогенизация), рекристаллизационный.

Полный отжиг. Этому виду отжига подвергают доэвтектоидную сталь (например, после литья иликовки) с целью создания мелкозернистой структуры, понижения твердости, повышения пластичности, снятия внутренних напряжений. Сталь нагревают до температуры на 20-30°C выше критической точки $A_{с3}$, т.е. на 20-30°C выше линии GS. При этом крупная ферритно-перлитная структура превращается в мелкозернистую структуру аустенита. При последующем медленном охлаждении (обычно со скоростью в среднем 100°C в час до 500°C и далее на воздухе) из мелкозернистого аустенита образуется

мелкозернистая ферритно-перлитная структура. Заэвтектоидную сталь полному отжигу не подвергают во избежание получения цементитной сетки по границам зерен перлита, что снижает механические свойства стали.

Неполный отжиг (на зернистый перлит). Этому виду отжига подвергают эвтектоидную и заэвтектоидную сталь с целью устранения пластинчатого перлита и цементитной сетки, получения структуры зернистого перлита. Заэвтектоидную сталь нагревают до температуры между линиями SE и PSK (740-760°C). При этом происходит превращение в аустенит только перлита, а цементит остается. При последующем медленном охлаждении из аустенита образуется ферритно-цементитная структура с зернистой формой цементита - зернистый перлит. Для обеспечения образования зернистого перлита нагрев и охлаждение повторяют несколько раз. Такой вид отжига называют маятниковым или циклическим.

Диффузионный отжиг (гомогенизация). Этот вид отжига характеризуется нагревом стали до температуры на 180-300°C выше критической точки $A_{с3}$ с последующим медленным охлаждением. Такой отжиг применяется главным образом для легированной стали для выравнивания химической неоднородности зерен твердого раствора, т.е. уменьшения микроликвации в отливках. Практически слитки нагревают до 1100-1150°C (при этом межатомные связи ослабевают), выдерживая 12-15 часов, и затем медленно охлаждают до 200°C. Весь процесс длится 80-100 часов.

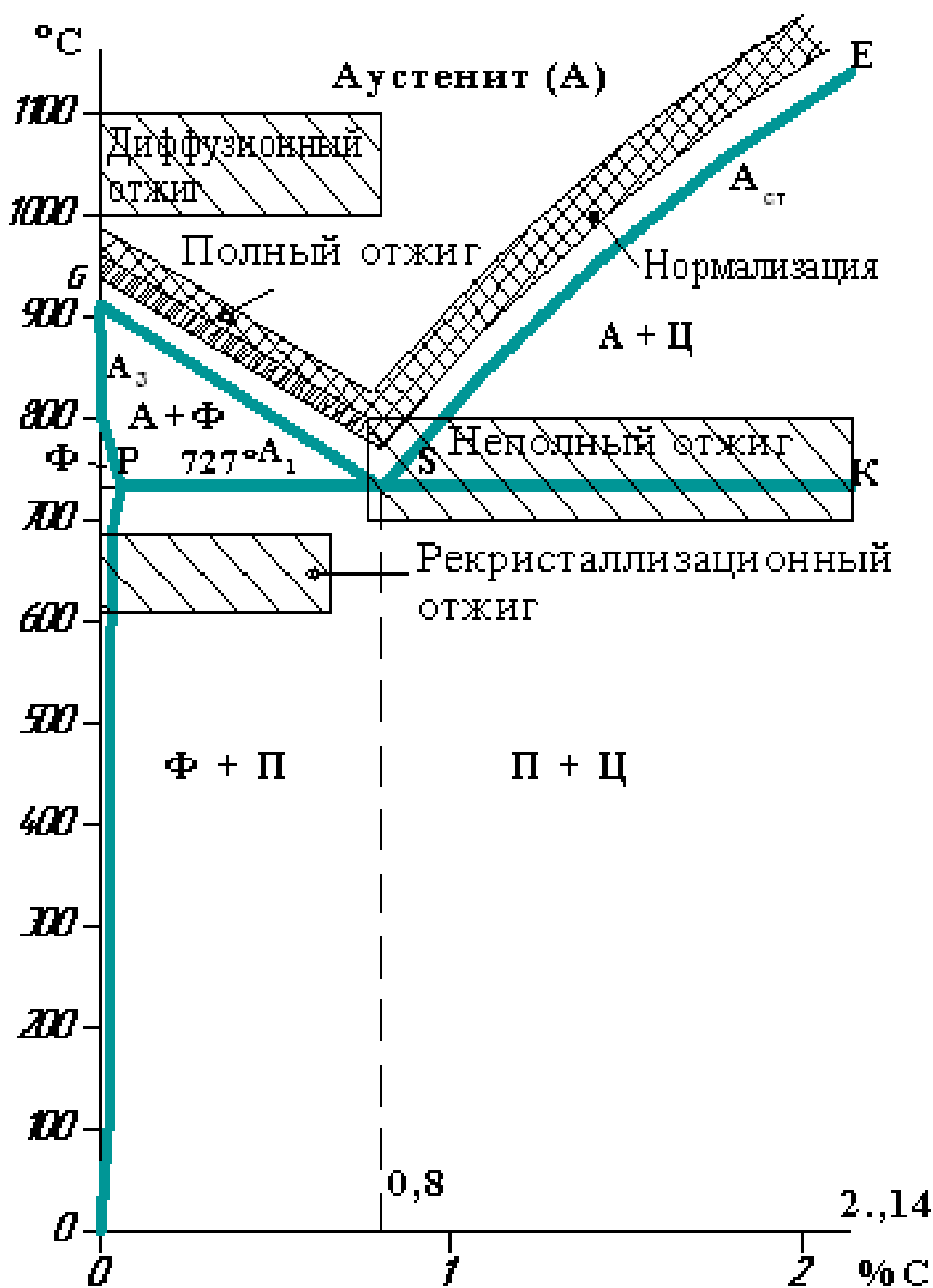


Рис.36

Рекристаллизационный отжиг (называется еще и разупрочняющим). Применяют его для восстановления пластичности и устранения наклепа деформированного в холодном состоянии металла. Обычно рекристаллизационный отжиг для чистых металлов производят при температуре $T_{\text{рек.}} = 0,4 \cdot T_{\text{плав.}}$ (здесь температуры абсолютные).

Нормализация стали. Нормализацией называется процесс термической обработки, заключающийся в нагреве до температуры выше $A_{\text{сз}}$ для доэвтектоидной стали или $A_{\text{см}}$ для заэвтектоидной стали с последующим охлаждением на воздухе. Нормализацией устраняют внутренние напряжения и наклеп, повышают механические свойства и подготавливают структуру стали для окончательной термической обработки. Нормализация по сравнению с отжигом более экономичная операция.

Закалка стали. Закалкой называется процесс термической обработки, заключающийся в нагреве стали до температуры несколько выше критической и последующем быстром охлаждении (в воде или масле) с целью получения неравновесной структуры. В результате закалки повышается прочность и твердость стали, а следовательно, износостойкость. Качество стали зависит от температуры и скорости нагрева, времени выдержки и скорости охлаждения.

Доэвтектоидные стали при закалке нагревают до температуры на 30-50°C выше верхней критической точки $A_{\text{сз}}$, т.е. выше линии GS диаграммы "железо-цементит". При этом исходная ферритно-перлитная структура превращается в аустенит, а после охлаждения стали со скоростью больше критической образуется структура мартенсита. Мартенсит является основной структурой закаленной стали. В большинстве случаев стали стремятся получить эту структуру, так как твердость мартенсита очень высокая HRC 60-65 (HB 600 кг/мм²). Мартенсит получается при большой средней скорости охлаждения (в воде), примерно, 150-180°C в секунду.

Как же образуется мартенсит? При резком переохлаждении углерод не успевает выделиться из твердого раствора (аустенита) с образованием частичек цементита, как это имеет место при образовании перлита (а также сорбита и троостита). Что касается кристаллической решетки, то она (такова природа железа) из решетки γ -перестраивается в решетку α -железа. Углерод же не успевает выделиться из решетки и остается внутри, сильно ее искажая. Одна из сторон решетки куба увеличивается, решетка становится тетрагональной. Искажение тем выше, чем больше углерода в стали. Следовательно, мартенсит является пересыщенным твердым раствором углерода в α -железе. Мартенсит имеет характерное игольчатое строение. Размер игл зависит от размера зерен аустенита. Чем мельче зерно аустенита, тем мельче иглы мартенсита. При наличии очень мелких игл, неразличимых под микроскопом при обычных условиях (500-600 $\times$) мартенсит называется бесструктурным или скрытокристаллическим. Такая структура характерна для правильно закаленной стали.

Заэвтектоидную сталь подвергают неполной закалке, т.е. нагревают до температуры на 30-50°C выше нижней критической точки $A_{\text{с1}}$ т.е. выше линии PSK диаграммы железо-цементит. Так как эта линия горизонтальная, то можно указать интервал температуры нагрева для закалки 750-790°C. При таком нагреве часть исходной структуры (перлит) будет превращаться в аустенит, и другая часть (цементит) останется без превращений, а это и не нужно, так как цементит сам по себе весьма тверд и только

повышает твердость закаливаемой стали. При охлаждении аустенит превратится в мартенсит, а цементит останется без изменений и структура закаленной стали будет состоять из мартенсита и цементита. Как мы видим, для заэвтектоидной стали неполная закалка вполне достаточна. Более того, если мы для нее станем проводить полную закалку, мы можем испортить дело. Если мы всю структуру стали переведем в аустенит при нагреве, то при резком охлаждении весь углерод, в нем растворенный, не успеет выйти из решетки и чрезмерно исказит ее. В результате - чрезмерные напряжения в закаливаемых деталях, приводящие либо к закалочным трещинам, либо к поломке деталей при работе.

Мартенсит не единственная структура закаленной стали. При меньшей скорости охлаждения углерод из аустенита успевает выделиться и образовать ферритно-цементитную смесь. Если скорость охлаждения примерно 50°C в секунду (охлаждение в масле), то образуется более мелкая, чем перлит ферритно-цементитная смесь, называемая сорбитом. Твердость сорбита HB 250-300 кг/мм². При скорости охлаждения $80-100^{\circ}\text{C}$ в секунду образуется еще более мелкозернистая ферритно-цементитная смесь, называемая трооститом. Его твердость HB 350-400 кг/мм². Таким образом, структуры троостита и сорбита представляют ферритно-цементитные перлитоподобные смеси. Разница между ними только в величине частиц цементита: в троостите они очень мелкие, в сорбите более крупные (но, конечно, мельче, чем у перлита).

Интервал закалочных температур приведен на рис.37. Отпуск закаленной стали. Отпуску подвергают только закаленную сталь. С помощью этой операции либо снимают внутренние напряжения у стали, закаленной на мартенсит, либо превращают мартенсит в менее твердые, а следовательно, менее хрупкие структуры троостита или сорбита. Отпуском называется процесс термической обработки, заключающийся в нагреве закаленной стали до температур не выше A_{c1} (т.е. не выше 727°C), обуславливающий превращение неравновесной структуры закаленной стали в более равновесную. В зависимости от температуры нагрева отпуск разделяется на низкий, средний и высокий.

Низкий отпуск. Он заключается в нагреве стали до температуры $150-250^{\circ}\text{C}$ и охлаждения с целью получения мартенсита отпуска и частичного снятия внутренних напряжений. Твердость при этом практически не меняется.

Средний отпуск. Он заключается в нагреве стали до температуры $250-500^{\circ}\text{C}$ и охлаждении с целью получения структуры троостита отпуска.

Высокий отпуск заключается в нагреве стали до температуры $500-580^{\circ}\text{C}$ и охлаждении с целью получения структуры сорбита отпуска.

Низкий отпуск обычно проводится в масляных ваннах, для высокого отпуска используются электропечи.

Порядок выполнения работы:

1. Получить у преподавателя (лаборанта) образец, подлежащий термической обработке (образец, исследовавшийся на предыдущих лабораторных работах).
2. По диаграмме состояния "Железо-цементит" определить диапазон температур для закалки данной стали.
3. Довести температуру печи до необходимой величины.
4. Установить образец в печь и дать необходимую выдержку.

5. Произвести закалку образца. (*)
6. Изготовить микрошлиф закаленного образца, протравить и подготовить к просмотру под микроскопом.
7. Установить образец на микроскоп, определить образовавшуюся структуру.
8. Определить твердость образца по Роквеллу.
9. Зарисовать структуру и дать подробное ее описание.
10. Заполнить протокол проведенной работы (форма дана ниже).

Часть студентов (по заданию преподавателя) выполняет для доэвтектоидных сталей неполную закалку, часть полную закалку на мартенсит (т.е. используют в качестве закалочной среды воду), часть выполняет закалку в масле, для получения структуры сорбита или троостита.

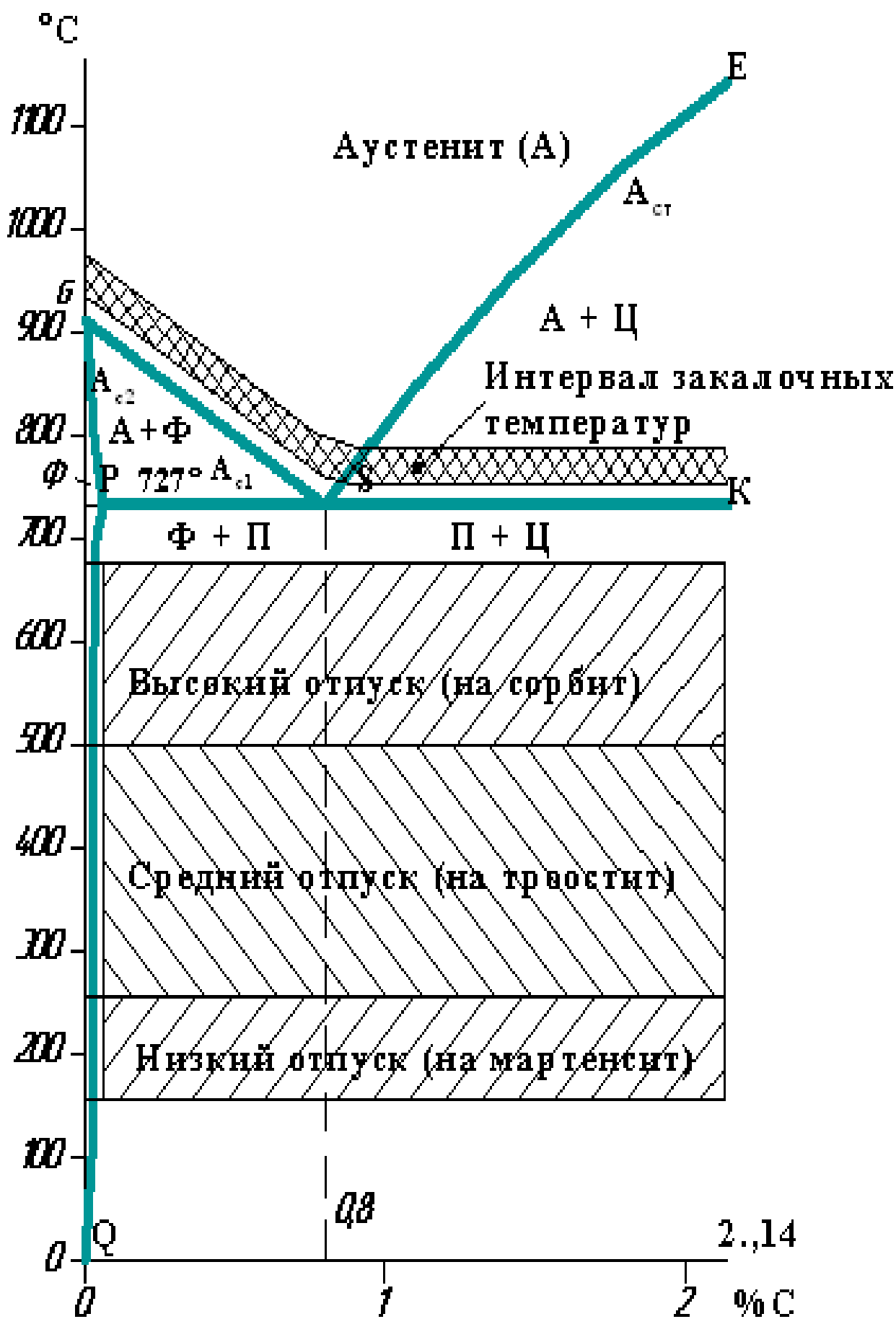


Рис.37

Вопросы для самопроверки:

1. Какие существуют виды термической обработки и их назначение?
2. Почему для доэвтектоидной стали делают полную закалку, а для заэвтектоидной - неполную?
3. Какие Факторы влияют на получение той или иной структуры при закалке?
4. Что такое мартенсит?
5. Как выглядит мартенсит под микроскопом?
6. Что такое сорбит и троостит? Почему эти структуры называются перлитоподобными?
7. В чем заключается принципиальное отличие мартенситной структуры от структуры сорбита и троостита?
8. В чем состоит различие между отжигом и нормализацией?
9. Для какой цели делается отпуск? Какие стали подвергаются отпуску?
10. Какие превращения происходят в стали при разных видах отпуска?

ПРОТОКОЛ ТЕРМООБРАБОТКИ

Образец после заделки	Твердость	
	Рисунок Микроструктуры	
	Полученная структура	
Режим заделки	Охлаждающая среда	
	Скорость охлаждения	
	Температура нагрева	
	Вид заделки	
Образец до заделки	Твердость	
	Количество углерода	
	Рисунок микроструктуры	
	Структура	
	Марка стали	

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №11
ИЗУЧЕНИЕ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ
(ЦЕМЕНТАЦИЯ В ТВЕРДОМ КАРБЮРИЗАТОРЕ)

Цель работы: Изучить способ проведения цементации малоуглеродистых сталей в твердом карбюризаторе.

Задание: Выбрать режим цементации (температуру и время выдержки). Произвести цементацию. Исследовать под микроскопом микроструктуру и измерить твердость исследуемого образца до и после цементации.

Оборудование и материалы:

1. Образцы для цементации.
2. Металлический ящик 50 x 60 x 60 мм с крышкой.
3. Огнеупорная глина.
4. Карбюризатор: 75% древесного угля; 20% углекислого бария (BaCO_3); 5% углекислого кальция (CaCO_3).
5. Муфельная печь.
6. Прибор Роквелла.
7. Набор материалов для изготовления микрошлифов.
8. Травитель для стали.
9. Микроскоп металлографический.

Основные положения:

Поверхностное упрочнение стальных деталей сводится к увеличению твердости их поверхностных слоев. С увеличением твердости повышается сопротивление истиранию, увеличивается предел выносливости и деталь тем самым предохраняется от преждевременного разрушения.

Существует три метода повышения поверхностной прочности: поверхностная закалка (в основном токами высокой частоты); поверхностный наклеп; химико-термическая обработка.

Одним из наиболее распространенных методов повышения поверхностной твердости является метод химико-термической обработки, заключающийся в насыщении поверхностного слоя каким-либо элементом (или элементами) с целью изменения химического состава, микроструктуры, свойств стальных деталей.

Обязательная последующая термическая обработка (закалка и низкий отпуск) обеспечивает высокую твердость, износостойкость при сохранении пластичности сердцевины детали.

Основные параметры химико-термической обработки - температура нагрева и продолжительность выдержки. Основные процессы химико-термической обработки: диссоциация - абсорбция диффузия. Диссоциация - получение насыщающего элемента в более активном, атомарном состоянии. Абсорбция - захват поверхностью детали атомов насыщающего элемента. Диффузия - перемещение этого элемента в глубь изделия. Для абсорбции и диффузии необходимо, чтобы насыщающий элемент с основным металлом

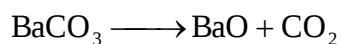
образовывал либо твердый раствор, либо химическое соединение (но не механическую смесь).

В зависимости от насыщающего элемента существует ряд разновидностей химико-термической обработки: цементация, азотирование, нитроцементация и диффузионная металлизация.

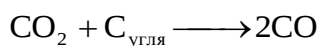
Цементация - заключается в диффузионном насыщении поверхности стальных изделий углеродом. Цементация бывает: твердофазная (в смеси порошка древесного угля с углекислыми солями), жидкофазная (в расплавленных углеродосодержащих солях) и газовая (в смеси газов, содержащих метан и окись углерода).

Твердофазная цементация является распространенным методом насыщения углеродом металлических изделий. Для проведения указанной цементации деталь упаковывают в ящик (рис.36), содержащий карбюризатор, а затем помещают в печь для нагрева. Температура цементации колеблется в интервале 880-1100°C. Время выдержки при твердофазной цементации выбирается в зависимости от необходимой глубины насыщения детали углеродом и составляет при температуре 900-930°C, примерно, 0,12 мм/ч.

Процесс насыщения заключается в следующем: при нагреве BaCO_3 разлагается на окись бария и углекислый газ.



Углекислый газ, являясь окислителем, вступает в реакцию с древесным углем и образует угарный газ



Эта реакция при температуре цементации легко обратима



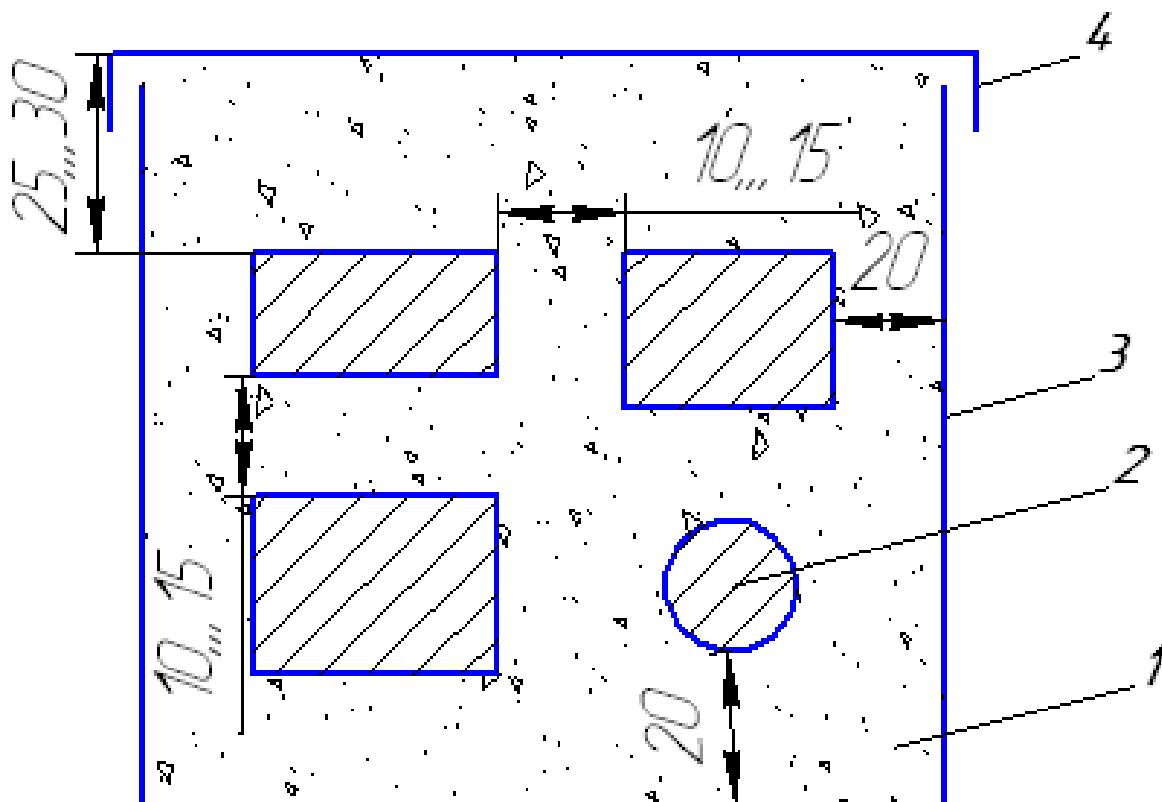


Рис.38 Подготовка образцов для цементации

Атомарный углерод диффундирует в сталь и растворяется в аустените. В результате цементации количество углерода в поверхностном слое увеличивается. Сечение цементованного изделия будет составлять набор структур, соответствующий диаграмме состояния железо-цементит. После цементации на поверхности образуется зона перлита и цементита (заэвтектоидная сталь) с содержанием углерода до 1%. Концентрация углерода не постоянна и убывает к центру сечения. Поэтому далее по глубине располагается перлит (эвтектоидная сталь) с содержанием углерода 0,8% и далее феррит и перлит (доэвтектоидная сталь). Максимально возможная концентрация углерода в цементованном слое должна соответствовать пределу растворимости углерода в аустените при температуре процесса цементации (определяется по диаграмме состояния железо-цементит). Для получения высоких механических характеристик изделие после цементации подвергают закалке. Закалку изделия осуществляют либо сразу после цементации, либо после повторного нагрева. В результате закалки поверхностная структура состоит из игольчатого мартенсита и небольшого количества цементита. Образование мартенсита на поверхности приводит к получению высокой твердости и износостойкости. Структура сердцевины после закалки получается различной в зависимости от цементуемой стали. В углеродистых сталях сохраняется ферритно-перлитная смесь.

Порядок выполнения работы:

1. Замерить твердость образца.

2. Составить твердый карбюризатор, для этого хорошо размешать древесный уголь (80% или 25 г), барий углекислый (15% или 5 г) и кальций углекислый (5% или 1,5 г).

3. Засыпать карбюризатор 1 и установить образец 2 как указано на рис.38, в металлический ящик 3. Стык между ящиком и крышкой 4 обмазать огнеупорной глиной.

4. Вставить подготовленный ящик в печь, нагреть до температуры 1000 С и выдержать при этой температуре 60 минут. Охлаждать на воздухе

5. Замерить твердость образца.

6. Приготовить микрошлиф, протравить его.

7. Определить глубину науглероживаний.

8. Зарисовать структуру микрошлифа.

Вопросы для самопроверки:

1. Какие существуют методы поверхностного упрочнения?

2. Что относится к основным параметрам химико-термической обработки?

3. Какие процессы имеют место при химико-термической обработке?

4. Что такое цементация?

5. Какие стали подвергаются химико-термической обработке?

6. Как зависит глубина цементации от температуры и времени выдержки?

7. Как изменяются механические свойства стали в зависимости от содержания углерода?

8. Каков порядок осуществления процесса цементации?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №12

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОКАЛИВАЕМОСТИ СТАЛИ

Цель работы: Изучить способ торцевой закалки. Определить прокаливаемость стали.

Задание: Уяснить, что такое прокаливаемость и факторы, влияющие на нее. Выполнить эскиз образца и установки для охлаждения. Описать выбранный режим закалки. Составить протокол измерения твердости, определить критический диаметр.

Оборудование и материалы:

1. Стандартный образец.
2. Муфельная печь.
3. Установка для охлаждения.
4. Клещи.
5. Термопара.
6. Гальванометр.
7. Прибор Роквелла.
8. Приспособление к прибору Роквелла для замера твердости с интервалом 1,5 мм.

Основные положения.

В процессе закалки детали по сечению охлаждаются неравномерно. Поверхность охлаждается с большей скоростью, чем центральная часть. Ближе к центру скорость охлаждения может быть ниже критической скорости закалки. Тогда эти части детали не будут иметь структуры закалки, а следовательно, и необходимой твердости.

Поэтому следует различать термины "закаливаемость" и "прокаливаемость". Под закаливаемостью следует понимать способность тела приобретать твердость при закалке. Она определяется только содержанием углерода. Под прокаливаемостью подразумевается способность стали воспринимать закалку на определенную глубину.

Прокаливаемость является одной из важнейших характеристик стали. Сталь со сквозной прокаливаемостью имеют высокие прочностные свойства и одинаковую твердость по всему сечению, а в сталях с малой прокаливаемостью свойства и структура по сечению будут разными.

Величина прокаливаемости зависит от размеров детали, интенсивности охлаждения, а также от критической скорости закалки. Уменьшение последней приводит к повышению устойчивости переохлажденного аустенита, а следовательно, увеличивает прокаливаемость.

Устойчивость аустенита зависит от величины зерна и химического состава. Наличие легирующих элементов, растворимых в аустените, увеличивает прокаливаемость стали. В результате сквозной прокаливаемости структура будет состоять из мартенсита и иметь одинаковую твердость по всему сечению изделия.

Охлаждение части изделия со скоростью ниже критической приводит к частичной прокаливаемости. Поэтому в сердцевине аустенит распадается диффузионным путем на ферритно-цементитную смесь, а в сечениях, где скорость охлаждения будет больше

критической, аустенит превратится в мартенсит. Твердость и свойства по сечению таким образом будут неодинаковы.

Количественной характеристикой прокаливаемости является критический диаметр, измеряемый в мм. Критическим диаметром называется наибольший диаметр образца, при котором сталь прокаливается полностью, т.е. твердость образца соответствует мартенситной или полумартенситной зоне (зоне, состоящей из 50% мартенсита и 50% троостита). Твердость этих зон зависит от содержания углерода в стали (см. табл.6).

Для определения прокаливаемости существует несколько методов:

- 1) метод пробной закалки;
- 2) метод торцевой закалки.

Наибольшее распространение получил последний метод, подробно рассматриваемый в разделе "Порядок выполнения".

Зная величину прокаливаемости (расстояние от торца образца до полумартенситной зоны), определяем скорость охлаждения и критический диаметр. Для этой цели используется номограмма (рис. 39).

Привило пользования номограммой. По верхней шкале номограммы находят расстояние от торца образца до полумартенситной зоны A , которое было определено на стандартном образце исследуемой стали (Пример нахождения размеров полностью прокаливаемой детали, если $h=3$ мм, приведен на рис.39). От найденной точки опускают перпендикуляр до шкалы «идеальное охлаждение». От точки пересечения влево ведут горизонтальную линию до пересечения с вертикальной осью, где и находят значение скорости охлаждения в центре детали. Чтобы определить диаметр детали, имеющей в центре полумартенситную зону, при охлаждении в реальной среде (вода, масло, воздух) необходимо от точки пересечения горизонтальной линии с линией реальной среды (в нашем случае от точки «б» к «в») опустить перпендикуляр на горизонтальную ось. В зависимости от формы и размеров детали получают различные диаметры, имеющие в центре полумартенситную зону. В нашем случае скорость охлаждения в центре бруска равна 110 град/с. Максимальный размер ($d \times l$) детали, имеющей в центре полумартенситную зону, равен 90×9 мм и 15×150 мм при закалке в воде; 45×4,5 и 8×80 мм при закалке в масле.

Содержание углерода в стали, %	Твердость полумартенситной зоны, HRC
0.08-0.17	-
0.18-0.22	25
0.23-0.27	30
0.28-0.32	35
0.33-0.42	40
0.43-0.52	45
0.53-0.63	50
0.8	53
0.9	55

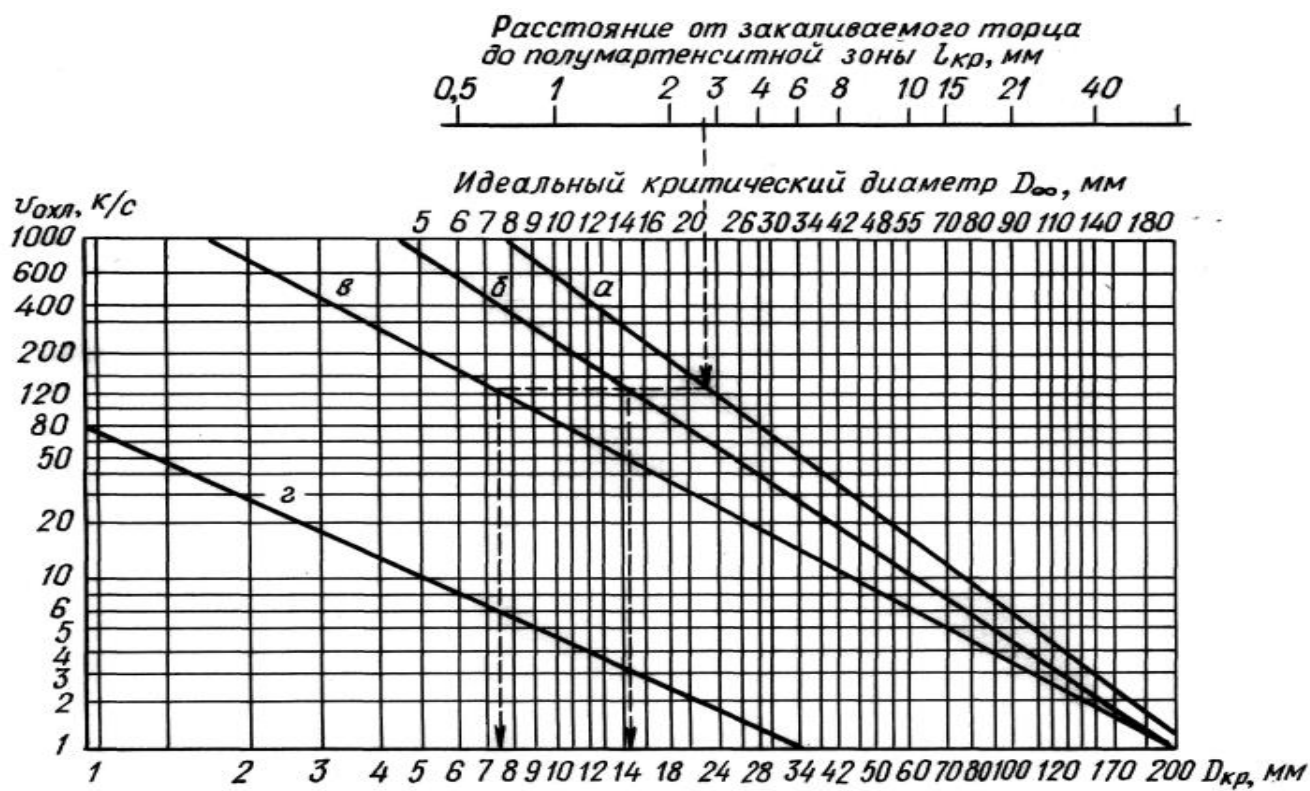


Рис.39 Номограмма для определения прокаливаемости

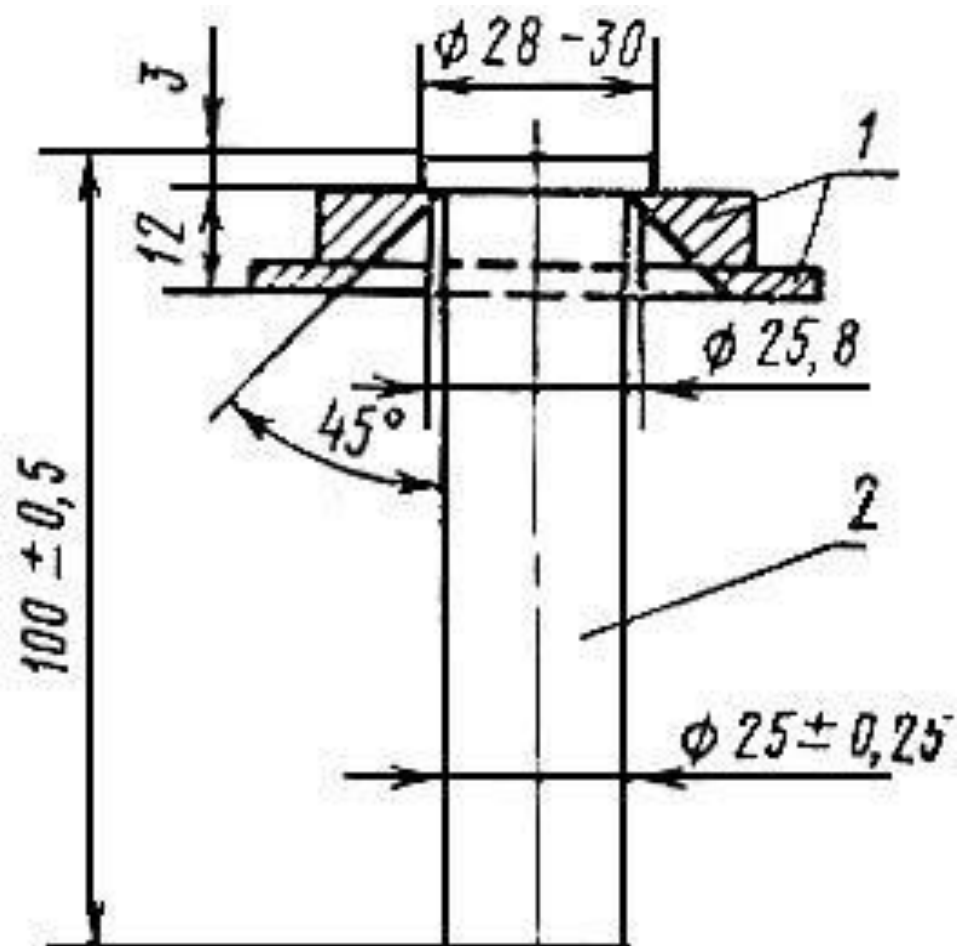


Рис.40 Стандартный образец для испытания на прокаливаемость

Порядок выполнения работы:

1. Изготовленный стандартный образец (рис.40) закалить по режиму: нагрев в муфельной печи до температуры $A_{C3}+50^{\circ}C$ (температуру A_{C3} определить для данной марки стали по диаграмме состояния железо-цементит), выдержка при указанной температуре 30 минут.

2. Быстро перенести образец в специальную установку где его охлаждают струей воды. Высота струи воды без установленного образца должна быть 65 мм. Нагретый образец устанавливают в кронштейн так, чтобы расстояние между водяным соплом и торцом образца соответствовало 12,5 мм. Отрегулировать струю воды таким образом, чтобы вода не попадала на цилиндрическую поверхность исследуемого образца. Указанные условия проверяются на холодном образце. Установка располагается у печи таким образом, чтобы время между выемкой образца из печи и охлаждением не превышало 5 секунд.

3. После установки образца в кронштейн, открывают вентиль и охлаждают образец с торца струей воды. Скорость охлаждения в разных точках по длине образца будет различна. Время охлаждения стандартного образца 15 минут при температуре воды от $+10$ до $+20$ градусов. Неравномерное охлаждение приведет к получению различных структур. Так на торце и в сечениях, где скорость охлаждения была больше критической, получим структуру мартенсита. В последующих слоях с уменьшением скорости охлаждения – троостит, сорбит, перлит (или перлит с верритом или цементитом в зависимости от количества углерода в стали).

4. Измерить твердость образца на приборе Роквелла. Для этой цели на закаленном образце сошлифовать лыску по образующей шириной 2 мм. Твердость измерять через 1,5 мм, начиная от торца. Результаты измерений твердости занести в таблицу.

Расстояние от торца образца	Твердость, HRC
1,5	
3,0	
4,5	
6,0	
...	

На основании полученных данных строят график.

5. Провести горизонтальную линию, ордината которой соответствует твердости полумартенситной зоны данной стали, определяемой из табл. 6. Проекция точки пересечения кривой твердости и прямой на ось расстояний от торца образца определяет величину прокаливаемости в мм.

6. Зная величину прокаливаемости, определяем по номограмме скорость охлаждения и критический диаметр.

Вопросы для самопроверки:

1. Что такое прокаливаемость?
2. Чем отличается прокаливаемость от закаливаемости?
3. Какие факторы влияют на прокаливаемость?
4. Какие существуют методы определения прокаливаемости?

5. Как по номограмме определить скорость охлаждения в центре детали?
6. Как по номограмме определить максимальный размер цилиндрической детали, имеющей в центре полумартенситную зону при закалке в масле?
7. Что называется критическим диаметром?
8. Что называется полумартенситной зоной?
9. Почему с увеличением содержания углерода увеличивается твердость полумартенситной зоны?

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические рекомендации
по организации самостоятельной работы обучающихся
по дисциплине «Материаловедение»
для студентов направления подготовки /специальности
21.03.02 Землеустройство и кадастры/«Городской кадастр»

СОДЕРЖАНИЕ

- Тема 1. Основные свойства строительных материалов
- Тема 2. Естественные и искусственные строительные материалы
- Тема 3. Минеральные вяжущие вещества и искусственные каменные материалы на их основе. Битумы и дегтевые материалы.
- Тема 4. Материалы и изделия из древесины
- Тема 5. Строительные материалы на основе полимеров. Теплоизоляционные и звукоизоляционные материалы.
- Тема 6. Металлы, их сплавы. Теоретические и технологические основы производства материалов. Сварка и пайка металлов.
- Тема 7. Композиционные материалы
- Тема 8. Различные виды производства изделий

Тема 1.: Основные свойства строительных материалов

Цель изучения темы: научиться свободно оперировать механическими, тепловыми, электрофизическими и другими параметрами, характеризующими свойства строительных материалов.

Задачи: выяснить физический смысл и числовые значения механических, тепловых, электрофизических и других параметров, характеризующих свойства строительных материалов

Студент должен знать:

1. механическими, тепловыми, электрофизическими и другими параметрами, характеризующими свойства строительных материалов;
2. зависимость механическими, тепловыми, электрофизическими и другими параметрами, характеризующими свойства строительных материалов от внешних условий.

Студент должен уметь: находить в справочных источниках числовые значения механическими, тепловыми, электрофизическими и другими характеристики строительных материалов.

Задания для самостоятельной внеаудиторной работы студентов по указанной теме:

- 1) Ознакомиться с теоретическим материалом по теме занятия с использованием конспектов лекций, рекомендуемой учебной литературой.
- 2) Ответить на вопросы самоконтроля:
 1. Место строительной индустрии в народном хозяйстве страны.
 2. Получение природных строительных материалов.
 3. Получение искусственных строительных материалов Основные порообразующие минералы.
 4. Свойства глин, являющихся сырьем для керамических материалов.
 5. Производство керамических материалов. Битумные вяжущие вещества.
 6. Дегтевые вяжущие вещества.
 7. Применение битумных и дегтевых вяжущих веществ.
 8. Магнезиальные вяжущие вещества растворимое стекло и кислотоупорный цемент. Стекло и изделия из минеральных расплавов.
 9. Свойства стекла.
 10. Изделия из стекла. Строение древесины.
 11. Применение древесины в современном индустриальном строительстве.
 12. Основные свойства древесины.
 13. Назвать основные древесные строительные материалы. Назвать композиционные материалы на основе древесины. Теплоизоляционные материалы.
 14. Звукоизоляционные материалы. Образование сварного соединения.
- 3) Проверить свои знания с использованием тестового контроля

Рекомендуемая литература:

а) Основная литература:

Материаловедение / Ю.П. Земсков, Ю.С. Ткаченко, Л.Б. Лихачева, Б.М. Квашнин. – Воронеж : Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2013. – 199 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=141977>

б) Дополнительная литература:

Ржевская, С.В. Материаловедение : учебник для вузов / С.В. Ржевская. - 4-е изд., перераб. и доп. - М. : Логос, 2006. - 424 с. : ил.,табл., схем. - (Новая Университетская Библиотека). -

ISBN 5-98704-149-X ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=89943>

в) Интернет-ресурсы:

- Бесплатный образовательный ресурс (лекции, книги, методички). URL: <http://www.materialscience.ru>
- Открытый образовательный ресурс. URL: <http://core.materials.uk>
- Открытый образовательный ресурс. URL: <http://www.mateer.org.uk>
- Сайт о материалах и материаловедению URL:<http://materiall.ru>

Тема 2.: Естественные и искусственные строительные материалы

Цель изучения темы: изучить состав компонент, а так механические, тепловые, электрофизические и другие параметры естественных и искусственных строительных материалов.

Задачи: выяснить физическую природу и происхождение компонент формирующих естественные и искусственные строительные материалы, а так же их физические и физико-механические свойства.

Студент должен знать:

1. состав компонент формирующих естественные и искусственные строительные материалы, а так же их физические и физико-механические свойства;
2. зависимость механическими, тепловыми, электрофизическими и другими параметрами, характеризующими свойства естественных и искусственных строительных материалов.

Студент должен уметь: находить в справочных источниках числовые значения механических, тепловых, электрофизических и других характеристик естественных и искусственных строительных материалов.

Задания для самостоятельной внеаудиторной работы студентов по указанной теме:

- 1) Ознакомиться с теоретическим материалом по теме занятия с использованием конспектов лекций, рекомендуемой учебной литературой.
- 2) Ответить на вопросы самоконтроля:
 1. Способы получения искусственных строительных материалов
 2. Основные пороодообразующие минералы.
 3. Свойства глин, являющихся сырьем для керамических материалов.
- 3) Проверить свои знания с использованием тестового контроля

Рекомендуемая литература:

а) Основная литература:

Материаловедение / Ю.П. Земсков, Ю.С. Ткаченко, Л.Б. Лихачева, Б.М. Квашнин. – Воронеж : Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2013. – 199 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=141977>

б) Дополнительная литература:

Ржевская, С.В. Материаловедение : учебник для вузов / С.В. Ржевская. - 4-е изд., перераб. и доп. - М. : Логос, 2006. - 424 с. : ил.,табл., схем. - (Новая Университетская Библиотека). - ISBN 5-98704-149-X ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=89943>

в) Интернет-ресурсы:

- Бесплатный образовательный ресурс (лекции, книги, методички). URL: <http://www.materialscience.ru>
- Открытый образовательный ресурс. URL: <http://core.materials.uk>
- Открытый образовательный ресурс. URL: <http://www.mateer.orR.uk>
- Сайт о материалах и материаловедению URL:<http://material> 1.ru

Тема 3.: Минеральные вяжущие вещества и искусственные каменные материалы на их основе. Битумы и дегтевые материалы.

Цель изучения темы: изучить состав компонент минеральных вяжущих веществ и искусственных каменных материалов на их основе. А так же битумов и дегтевых материалов.

Задачи: научиться различать минеральные вяжущие вещества и искусственные каменные материалы по составу их компонент и выяснить физический смысл и числовые значения механических, тепловых, электрофизических и других параметров этих материалов.

Студент должен знать:

1. состав компонент формирующих минеральные вяжущие вещества и искусственные каменные материалы на их основе, а так же их физические и физико-механические свойства;
2. зависимость механических, тепловых, электрофизических и других параметров, характеризующих свойства минеральных вяжущих веществ и искусственных каменных материалов на их основе.

Студент должен уметь: находить в справочных источниках числовые значения механических, тепловых, электрофизических и других характеристик минеральных вяжущих веществ и искусственных каменных материалов на их основе.

Задания для самостоятельной внеаудиторной работы студентов по указанной теме:

1). Ознакомиться с теоретическим материалом по теме занятия с использованием конспектов лекций, рекомендуемой учебной литературой.

2). Ответить на вопросы для самоконтроля:

1. Состав и свойства битумных вяжущих веществ.
2. Состав и свойства дегтевых вяжущих веществ.
3. Указать области применения битумных и дегтевых вяжущих веществ.
4. Состав и свойства магнезиальных вяжущих веществ растворимого стекла и кислотоупорного цемента.

3). Проверить свои знания с использованием тестового контроля

Рекомендуемая литература:

а) Основная литература:

Материаловедение / Ю.П. Земсков, Ю.С. Ткаченко, Л.Б. Лихачева, Б.М. Квашнин. – Воронеж : Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2013. – 199 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=141977>

б) Дополнительная литература:

Ржевская, С.В. Материаловедение : учебник для вузов / С.В. Ржевская. - 4-е изд., перераб. и доп. - М. : Логос, 2006. - 424 с. : ил.,табл., схем. - (Новая Университетская Библиотека). - ISBN 5-98704-149-X ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=89943>

в) Интернет-ресурсы:

- Бесплатный образовательный ресурс (лекции, книги, методички). URL: <http://www.materia1science.ru>
- Открытый образовательный ресурс. URL: <http://core.materials.uk>
- Открытый образовательный ресурс. URL: <http://www.mateer.org.uk>
- Сайт о материалах и материаловедению URL:<http://materiall.ru>

Тема 4.: Материалы и изделия из древесины

Цель изучения темы: научиться различать материалы из разных пород древесины и свободно оперировать механическими, тепловыми, электрофизическими и другими параметрами, характеризующими свойства древесины.

Задачи: выяснить физический смысл и числовые значения механическими, тепловыми, электрофизическими и другими параметрами, характеризующими свойства строительных материалов

Студент должен знать:

1. механические, тепловые, электрофизические и другие параметры, характеризующие свойства древесины;
2. зависимость механических, тепловых, электрофизических и других параметров, характеризующих свойства древесины от внешних параметров.

Студент должен уметь: находить в справочных источниках числовые значения механических, тепловых, электрофизических и других характеристик различных пород древесины.

Задания для самостоятельной внеаудиторной работы студентов по указанной теме:

- 1) Ознакомиться с теоретическим материалом по теме занятия с использованием конспектов лекций, рекомендуемой учебной литературой.
- 2) Ответить на вопросы для самоконтроля:
 1. Области применения древесины в современном индустриальном строительстве.
 2. Основные свойства древесины.
 3. Назвать основные древесные строительные материалы.
 4. Назвать композиционные материалы на основе древесины.
 5. Назвать теплоизоляционные материалы на основе древесины.
- 3) Проверить свои знания с использованием тестового контроля

Рекомендуемая литература:

а) Основная литература:

Материаловедение / Ю.П. Земсков, Ю.С. Ткаченко, Л.Б. Лихачева, Б.М. Квашнин. – Воронеж : Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2013. – 199 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=141977>

б) Дополнительная литература:

Ржевская, С.В. Материаловедение : учебник для вузов / С.В. Ржевская. - 4-е изд., перераб. и доп. - М. : Логос, 2006. - 424 с. : ил.,табл., схем. - (Новая Университетская Библиотека). - ISBN 5-98704-149-X ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=89943>

в) Интернет-ресурсы:

- Бесплатный образовательный ресурс (лекции, книги, методички). URL: <http://www.inaterialscience.ru>
- Открытый образовательный ресурс. URL: <http://core.materials.uk>
- Открытый образовательный ресурс. URL: <http://www.mateer.org.uk>
- Сайт о материалах и материаловедению URL:<http://materiall.ru>

Тема 5.: Строительные материалы на основе полимеров.

Теплоизоляционные и звукоизоляционные материалы.

Цель изучения темы: изучить строение, физические и физико-механические свойства полимеров.

Задачи: выяснить физический смысл и числовые значения механических, тепловых, электрофизических и других параметров, характеризующих свойства полимерных материалов.

Студент должен знать:

1. механические, тепловые, электрофизические и другие параметры, характеризующие свойства полимерных материалов;
2. зависимость механических, тепловых, электрофизических и других параметров, характеризующих свойства полимерных материалов от внешних параметров.

Студент должен уметь: находить в справочных источниках числовые значения механических, тепловых, электрофизических и других характеристик различных полимерных материалов.

Задания для самостоятельной внеаудиторной работы студентов по указанной теме:

- 1) Ознакомиться с теоретическим материалом по теме занятия с использованием конспектов лекций, рекомендуемой учебной литературой.
- 2) Ответить на вопросы для самоконтроля:
 1. Охарактеризовать материалы для строительных конструкций:
 - а) термопластичные полимеры
 - б) термореактивные полимеры
 - в)стеклопластики
 - г) стеклотекстолит
 - д) СВАМ
 - е) органическое стекло
 - ж)сотопласт
 - з) жесткие пенопласты.
- 3) Проверить свои знания с использованием тестового контроля

Рекомендуемая литература:

а) Основная литература:

Материаловедение / Ю.П. Земсков, Ю.С. Ткаченко, Л.Б. Лихачева, Б.М. Квашнин. – Воронеж : Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2013. – 199 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=141977>

б) Дополнительная литература:

Ржевская, С.В. Материаловедение : учебник для вузов / С.В. Ржевская. - 4-е изд., перераб. и доп. - М. : Логос, 2006. - 424 с. : ил.,табл., схем. - (Новая Университетская Библиотека). - ISBN 5-98704-149-X ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=89943>

в) Интернет-ресурсы:

- Бесплатный образовательный ресурс (лекции, книги, методички). URL: <http://www.materialscience.ru>
- Открытый образовательный ресурс. URL: <http://core.materials.uk>
- Открытый образовательный ресурс. URL: <http://www.mateer.org.uk>
- Сайт о материалах и материаловедению URL:<http://materiall.ru>

Тема 6.: Металлы, их сплавы. Теоретические и технологические основы производства материалов. Сварка и пайка металлов.

Цель изучения темы: выяснить строение, физические и физико- механические свойства металлов и сплавов, а так же теоретические и технологические основы производства металлов.

Задачи: изучить физический смысл и числовые значения механических, тепловых, электрофизических и других параметров, характеризующих свойства металлов и сплавов.

Студент должен знать:

1. механические, тепловые, электрофизические и другие параметры, характеризующие свойства металлов и сплавов;
2. зависимость механических, тепловых, электрофизических и других параметров, характеризующих свойства металлов и сплавов от внешних параметров.

Студент должен уметь: находить в справочных источниках числовые значения механических, тепловых, электрофизических и других характеристик различных металлов и сплавов.

Задания для самостоятельной внеаудиторной работы студентов по указанной теме:

1) Ознакомиться с теоретическим материалом по теме занятия с использованием конспектов лекций, рекомендуемой учебной литературой.

2) Ответить на вопросы для самоконтроля:

Основные свойства металлов

1. Механические свойства и классификация методов механических испытаний материалов

2. Обработка металлов давлением

3. Назначение и режимы термического нагрева

4. Прокатное производство(продольная, поперечная и поперечно — винтовая прокатка)

5. Виды сортамента проката.

6. Волочение

7. Прессование

8. Ковка (осадка, протяжка, гибка, скручивание, рубка, пробивка, прошивка)

9. Горячая объемная штамповка.

10. Листовая штамповка

3) Проверить свои знания с использованием тестового контроля

Рекомендуемая литература:

а) Основная литература:

Абрамова, В.И. Материаловедение : учебник / В.И. Абрамова, Н.Н. Сергеев. - Тула : ТГПУ им. Л. Н. Толстого, 2012. - 194 с. - ISBN 978-5-87954-929-0 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=230547>

б) Дополнительная литература:

Ржевская, С.В. Материаловедение : учебник для вузов / С.В. Ржевская. - 4-е изд., перераб. и доп. - М. : Логос, 2006. - 424 с. : ил.,табл., схем. - (Новая Университетская Библиотека). - ISBN 5-98704-149-X ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=89943>

в) Интернет-ресурсы:

- Бесплатный образовательный ресурс (лекции, книги, методички). URL: <http://www.materialscience.ru>
- Открытый образовательный ресурс. URL: <http://core.materials.uk>
- Открытый образовательный ресурс. URL: <http://www.mateer.org.uk>
- Сайт о материалах и материаловедению URL:<http://materiall.ru>

Тема 7.: Композиционные материалы

Цель изучения темы: изучить различные типы, состав и строение композиционных материалов

Задачи: выяснить физический смысл и числовые значения механических, тепловых, электрофизических и других параметров, характеризующих свойства композиционных материалов.

Студент должен знать:

1. механические, тепловые, электрофизические и другие параметры, характеризующие свойства композиционных материалов;
2. зависимость механических, тепловых, электрофизических и других параметров, характеризующих свойства композиционных материалов от внешних параметров.

Студент должен уметь: находить в справочных источниках числовые значения механических, тепловых, электрофизических и других характеристик различных композиционных материалов.

Задания для самостоятельной внеаудиторной работы студентов по указанной теме:

- 1) Ознакомиться с теоретическим материалом по теме занятия с использованием конспектов лекций, рекомендуемой учебной литературой.
 - 2) Ответить на вопросы для самоконтроля:
1. Основные типы композиционных материалов (совокупность признаков, матрица, виды наполнителей, состав компонентов).
 2. Классификация композиционных материалов.
 3. Армирующие материалы и их свойства.
 4. Получение композиционных материалов (выбор метода получения, различия).
 5. Обработка и соединение композиционных материалов.
- 3) Проверить свои знания с использованием тестового контроля

Рекомендуемая литература:

а) Основная литература:

Абрамова, В.И. Материаловедение : учебник / В.И. Абрамова, Н.Н. Сергеев. - Тула : ТГПУ им. Л. Н. Толстого, 2012. - 194 с. - ISBN 978-5-87954-929-0 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=230547>

б) Дополнительная литература:

Ржевская, С.В. Материаловедение : учебник для вузов / С.В. Ржевская. - 4-е изд., перераб. и доп. - М. : Логос, 2006. - 424 с. : ил., табл., схем. - (Новая Университетская Библиотека). - ISBN 5-98704-149-X ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=89943>

в) Интернет-ресурсы:

- Бесплатный образовательный ресурс (лекции, книги, методички). URL: <http://www.materialscience.ru>
- Открытый образовательный ресурс. URL: <http://core.materials.uk>
- Открытый образовательный ресурс. URL: <http://www.mateer.org.uk>
- Сайт о материалах и материаловедению URL: http://material_1.ru

Тема 8.: Различные виды производства изделий

Цель изучения темы: иметь представление о различных видах производства изделий.

Задачи: изучить производство изделий обжигом, литьем и торкретированием.

Студент должен знать:

1. последовательность производства изделий обжигом, литьем и торкретированием.

Студент должен уметь: уметь различать режимы обработки материалов изделий обжигом, литьем и торкретированием.

Задания для самостоятельной внеаудиторной работы студентов по указанной теме:

- 1) Ознакомиться с теоретическим материалом по теме занятия с использованием конспектов лекций, рекомендуемой учебной литературой.
- 2) Ответить на вопросы для самоконтроля:
 1. Описать последовательность производства изделий обжигом.
 2. Описать последовательность производства изделий литьем и торкретированием.
- 3) Проверить свои знания с использованием тестового контроля

Рекомендуемая литература:

а) Основная литература:

Абрамова, В.И. Материаловедение : учебник / В.И. Абрамова, Н.Н. Сергеев. - Тула : ТГПУ им. Л. Н. Толстого, 2012. - 194 с. - ISBN 978-5-87954-929-0 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=230547>

б) Дополнительная литература:

Ржевская, С.В. Материаловедение : учебник для вузов / С.В. Ржевская. - 4-е изд., перераб. и доп. - М. : Логос, 2006. - 424 с. : ил.,табл., схем. - (Новая Университетская Библиотека). - ISBN 5-98704-149-X ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=89943>

в) Интернет-ресурсы:

- Бесплатный образовательный ресурс (лекции, книги, методички). URL: <http://www.inaterialscience.ru>
- Открытый образовательный ресурс. URL: <http://core.materials.uk>
- Открытый образовательный ресурс. URL: <http://www.mateer.org.uk>
- Сайт о материалах и материаловедению URL:<http://materiall.ru>