

Министерство образования и науки Российской Федерации
Ивановский государственный химико-технологический университет

К.Е. Румянцева, Р.Ф. Шеханов

ИСПЫТАНИЕ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ

Учебное пособие

Иваново 2014

УДК 669. 017 (072)

Румянцева, К.Е. Испытание свойств металлов: учебное пособие / К.Е. Румянцева, Р.Ф. Шеханов; Иван. гос. хим-технол. ун-т. – Иваново, 2014. – 70 с.

В учебном пособии содержится описание методик проведения работ по испытаниям свойств материалов. Представлено 9 лабораторных работ, позволяющих привить студентам навыки исследования свойств материалов.

Предназначено для студентов направления подготовки 240100 «Химическая технология» и 261400 «Технология художественной обработки материалов» при изучении дисциплин «Материаловедение» и «Механические свойства материалов».

Табл. 14. Ил. 23. Библиогр.: 9 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Ивановского государственного химико-технологического университета.

Рецензенты: кафедра химии, экологии и микробиологии Ивановского государственного политехнического университета; директор УЦСГЕН, доктор технических наук К.Е. Румянцева

© Румянцева К.Е., Шеханов Р.Ф., 2014

© ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный химико-технологический университет», 2014

ВВЕДЕНИЕ

Учебное пособие содержит описание методик выполнения лабораторных работ, позволяющих ознакомиться с самыми распространенными методами исследований и испытаний материалов, а также приборов для этих исследований. Кроме того, приведены задачи по разбору диаграмм состояния, макро- и микроанализу металлов и сплавов.

Целью лабораторных работ является развить у студентов навыки к самостоятельной работе, дать возможность практически освоить методы исследования структуры и свойств металлов и сплавов, научить разбирать микроструктуры основных технических сплавов, а следовательно, пользоваться в последующей практической работе данными макро- и микроанализа, дать возможность практически освоить основные виды термической обработки железоуглеродистых сплавов, а также цветных и легких сплавов, научить обобщать полученные экспериментальные данные путем составления таблиц, построения графиков и диаграмм, зарисовки структур.

Изучение вопросов, рассмотренных в учебном пособии, способствует закреплению знаний, получаемых студентами на лекциях и при усвоении учебников по материаловедению, и повышению уровня их самостоятельной работы.

РАБОТА 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРОЕНИЯ МЕТАЛЛОВ МЕТОДОМ МАКРОСКОПИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Макроанализ применяется для выявления дендритного строения литого металла, усадочной рыхлости, газовых пузырей, трещин, пустот, шлаковых включений, ликвации серы и фосфора, качества сварного соединения, структурной и химической неоднородности после термической, механической, химико-термической обработки.

Макроанализ является предварительным методом исследования. По его данным можно выбрать те участки, которые необходимо подвергнуть дальнейшему, более подробному микроскопическому исследованию. При макроанализе проводится исследование макроструктуры. *Макроструктурой* называется строение металла, видимое без увеличения или при небольшом (до 10-30 раз) увеличении с помощью лупы.

Макроструктура может быть исследована как непосредственно на поверхности заготовки или в изломе, так и на вырезанном образце. Образец металла, поверхность которого подготовлена для макроанализа, называется *макрошлифом*.

Приготовление шлифа заключается в подготовке плоской поверхности с последующим ее шлифованием и полированием.

Плоскую поверхность подготавливают на торцевой поверхности образца обработкой на вращающемся шлифовальном круге или опиливают напильником.

Шлифование – операция, при которой режущими гранями шлифовального материала снимается тонкий слой металла, преимущественно на участках микровыступов поверхности, сглаживается поверхность. Съем металла при этом составляет 0,01-0,03 мм, а при использовании крупнозернистого абразивного материала 0,1-0,2 мм.

Шлифование производится с помощью твердых и эластичных шлифовальных кругов. Твердые круги применяются для грубой обработки с целью

удаления толстого слоя термической окалины или продуктов коррозии. Эластичные круги, на поверхность которых наносится шлифовальный порошок различной зернистости, используются для выведения мелких рисок, раковин, микрошероховатостей.

Полирование, проводимое с применением специальных паст, сопровождается незначительным съемом металла. Сглаживание микрошероховатостей происходит не за счет срезания выступающих участков микрорельефа шлифовальными зернами, а за счет перераспределения металла по поверхности, вдавливания и растекания его по микровпадинам. При этом большое воздействие на металлическую обрабатываемую поверхность оказывают химические и термические процессы, происходящие под воздействием полировочных паст. Поверхность металла под влиянием содержащихся в пастах активных компонентов покрывается тонкими солевыми или окисными пленками. Под воздействием полирующего инструмента эти пленки разрушаются, но на обнажившихся участках металла они возникают вновь.

Для выявления структуры чаще всего применяют химическое травление. Для определения дефектов, нарушающих сплошность стали, применяют реактивы глубокого и поверхностного травления. Определение основано на том, что соответствующие реактивы более сильно воздействуют на участки с более развитой и активной поверхностью, т.е. на те участки, где имеются дефекты, несплошности. Поэтому после травления поверхность макрошлифа в таких областях протравливается более сильно и глубоко, они четко выявляются на фоне более выступающих и светлых, менее сильно протравленных участков без дефектов. Реактивы поверхностного травления (см. приложение 1) хорошо выявляют сравнительно крупную пористость, другие дефекты несплошности, выходящие на поверхность, но из-за меньшей агрессивности они не могут заменить реактивы глубокого травления, применяемые для определения флокенов, трещин, рыхлости и пор, не выходящих непосредственно на поверхность металла.

Приготовление макрошлифов. Поверхность образца, предназначенная для макроанализа, обрабатывается на плоскошлифовальном станке. Для получения бо-

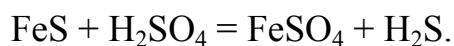
лее гладкой поверхности образец шлифуют вручную с помощью наждачной бумаги, причем начинают бумагой с наиболее грубым абразивным зерном, постепенно переходят на более мелкое зерно, меняя направление шлифования на 90°.

После шлифования и полирования образцы протирают ватой, смоченной спиртом, и подвергают травлению.

Вредными примесями в стали являются такие элементы, как фосфор и сера. Фосфор уменьшает пластичность и вязкость стали, увеличивает ее склонность к образованию трещин при низких температурах (хладноломкость). Сера снижает ударную вязкость, пластичность, предел выносливости, свариваемость и коррозионную стойкость сталей. Сера вызывает охрупчивание стали при высоких температурах (красноломкость). Содержание серы и фосфора в стали строго ограничивается.

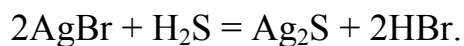
Выявление ликвации серы. С этой целью используется метод отпечатков Баумана. Поверхность макрошлифа протирают смоченной спиртом ватой. Лист фотографической бромсеребряной бумаги на свету смачивают или выдерживают в течение 5-10 мин в 5% растворе серной кислоты, слегка просушивают между двумя листами фильтровальной бумаги для удаления избытка влаги. После этого на приготовленный шлиф накладывают фотографическую бумагу и эмульсионной стороной осторожно, не допуская смещения бумаги, проглаживают резиновым валиком или рукой в резиновой перчатке для удаления оставшихся между бумагой и шлифом пузырьков воздуха. Фотобумагу выдерживают на макрошлифе 3 – 15 минут. Полученный отпечаток промывают водой и фиксируют 20 – 30 мин в 25% растворе гипосульфита, после чего снова промывают в течение 10 минут в воде и просушивают.

Сера находится в стали в виде соединений с марганцем MnS или железом FeS. На тех участках поверхности металла, где имеются скопления сульфидов, происходит реакция между ними и серной кислотой, оставшейся на фотобумаге:



Сероводород, образующийся непосредственно против очагов своего выделения, воздействует на кристаллики бромистого серебра фотоэмульсионно-

го слоя, на этих участках происходит дальнейшая реакция с образованием сернистого серебра, имеющего темно-коричневый цвет:



Образовавшиеся на фотобумаге темные участки указывают на форму и характер распределения включений сульфидов в исследуемых стали или чугуна. Если фотобумага имеет равномерную окраску, сера распределена равномерно.

Выявление ликвации фосфора. Фосфор может также участвовать в реакции с бромистым серебром, образуя фосфиды серебра темного цвета. Чаще используют реактив Гейна, выдерживая в нем поверхность макрошлифа в течение 1-2 минут. В результате железо растворяется и вытесняет медь, которая осаждается на поверхности образца. Более темные, т.е. глубоко протравленные участки, – это места, обогащенные фосфором, где медь выделяется менее интенсивно и поэтому меньше защищает поверхность металла от травящего действия хлористых солей реактива (чем больше в железе фосфора, тем быстрее оно растворяется).

Выявление дефектов, нарушающих сплошность металла, проводится в растворах глубокого травления, например в растворах кислот высокой концентрации. В результате происходит растравливание дефектов, нарушающих сплошность металла (трещин, пор, раковин), они становятся видимыми невооруженным глазом. Сравнительно однородные участки протравливаются меньше и оказываются более выступающими и светлыми.

Цель работы

Ознакомиться с методами макроскопического анализа и изучить характерные виды макроструктур на образцах железоуглеродистых сплавов.

Задание

1. Приготовить макрошлифы.

2. Выявить неоднородность (ликвацию) серы и фосфора; дефекты, нарушающие сплошность металла; строение литой стали.
3. Описать методы выявления макростроения и дефектов, зарисовать и дать характеристику выявленных макроструктур.
4. Написать отчет по работе в соответствии с пунктами задания.

РАБОТА 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛОВ МЕТОДОМ ОПТИЧЕСКОЙ МИКРОСКОПИИ

Под *микроанализом* понимают изучение строения металлов и сплавов с помощью металлографического микроскопа при увеличении 50 – 2000 раз.

Задачами микроанализа являются:

- определение формы и размеров кристаллических зерен, из которых состоит металл или сплав;
- обнаружение изменений внутреннего строения сплава, происходящих под влиянием различных режимов термической и химико-термической обработки, а также после внешнего механического воздействия на сплав;
- выявление микродефектов металла – микротрещин, раковин;
- обнаружение неметаллических включений – сульфидов, оксидов и др.;
- определение химического состава некоторых структурных составляющих по их характерной форме и окрашиванию специальными реактивами.

Подготовленная для исследования под микроскопом поверхность образца называется *микрошлифом*.

Микроскопический анализ состоит:

- из приготовления микрошлифов путем шлифования, полирования и травления;

- исследования микрошлифов с помощью металлографического микроскопа для выявления микроструктуры (после шлифования, полирования и травления) или неметаллических включений, мелких пор, графита в чугунах (после шлифования и полирования).

Удобной является цилиндрическая форма образца диаметром 10-12 мм и высотой 10 мм или прямоугольная с площадью основания 12x12 мм и высотой 10 мм.

Получение плоской поверхности достигается опилением напильником с последующей обработкой на абразивном круге. Полученную поверхность шлифуют на наждачной бумаге в направлении, перпендикулярном к рискам, полученным после опиления напильником, до полного их исчезновения. Поверхность образца вытирают ватой или промывают, после чего производится полирование на полировальной машине, в результате которого обрабатываемая поверхность образца получается блестяще зеркальной.

Чтобы получить хороший результат полирования, образец не следует сильно прижимать к сукну полировального круга, так как при этом хотя и ускоряется удаление рисок, но происходит деформирование поверхностного слоя и искажение структуры, выкрашивание хрупких включений, пригорание поверхности.

После полирования образец промывают водой, протирают ватой, смоченной спиртом, просушивают.

Полученная таким образом зеркальная поверхность не позволяет судить о строении сплава. Под микроскопом такой шлиф имеет вид светлого круга. Только неметаллические включения (сульфиды, оксиды, углерод в виде графита) вследствие их окрашенности в различные цвета можно заметить на светлом фоне микрошлифа. Для выявления микроструктуры шлиф подвергают действию травильных растворов, в результате чего неоднородные участки металла или сплава становятся видимыми под микроскопом.

Сущность процесса выявления структуры металлов травлением заключается в различной степени растворения или окрашивания отдельных структурных

составляющих – зерен чистых металлов, твердых растворов, химических соединений.

Зерна чистых металлов при одинаковом химическом составе отличаются по кристаллографической ориентировке. Поэтому на приготовленной плоскости микрошлифа находятся зерна, срезанные по разным кристаллографическим плоскостям и имеющие по этим плоскостям неодинаковые свойства. Под действием химически активной среды степень травимости отдельных зерен на поверхности микрошлифа оказывается различной. Кристаллическая решетка у границ зерна находится в более искаженном и напряженном состоянии, чем в глубине зерна. Поэтому в местах, соответствующих границам зерен, после травления образуются углубления. Вследствие рассеяния света в местах углублений границы зерен кажутся темными.

Кроме того, различные структурные составляющие обладают различными электродными потенциалами. Границы зерен травятся сильнее самих зерен, т.к. поверхностные слои зерна обогащены примесями, в связи с чем образуются микрогальванические пары. Когда полированная поверхность сплава покрыта травителем – электролитом, структурные составляющие сплава с наиболее электроотрицательным электродным потенциалом будут являться анодами и растворяться. Структурные составляющие с более положительным потенциалом будут являться катодами и сохраняться неизменными. Поскольку катодных и анодных участков много, то в результате травления на поверхности микрошлифа образуются многочисленные впадины и выступы, характеризующие микроструктуру сплава.

Таким образом, при освещении протравленного микрошлифа на металлографическом микроскопе лучи света будут по-разному отражаться от различно протравленных структурных составляющих. Слабо протравленные составляющие отразят в поле зрения микроскопа больше лучей света и будут казаться светлыми. Структурные составляющие, протравленные сильно, отразят меньше лучей вследствие рассеяния света и будут казаться темными. Таким образом, на разнице

в состоянии поверхности и количестве отраженных лучей и основано выявление структуры сплавов.

На рис. 1 приведена схема, поясняющая видимость границ зерен под микроскопом (а), и микроструктура металла с ясным очертанием границ зерен (б).

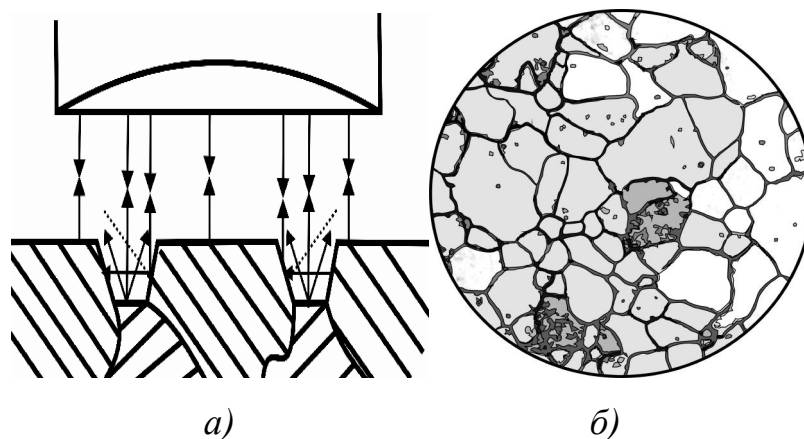


Рис. 1. Схема отражения лучей от полированной и протравленной поверхностей микрошлифа (а) и микроструктура металла (б)

Реактивы для травления стали, чугуна и сплавов цветных металлов приведены в приложении 2. На полированную поверхность наносят при помощи пипетки небольшое количество травителя. Продолжительность травления различна для различных сталей и структур, но обычно достаточно выдержка в несколько секунд.

Признаком протравливания является потускнение поверхности. После травления микрошлиф промывают водой, протирают ватой, смоченной спиртом, просушивают с помощью фильтровальной бумаги.

В результате травления должно быть четкое выявление микроструктуры. Если структура недостаточно выявлена, следовательно, шлиф недотравлен, производят повторное травление. Если структура получается слишком темная и разъеденная, шлиф перетравлен, необходима повторная полировка с последующим травлением (уменьшив время выдержки или ослабив травитель).

Подготовленный для исследования микроструктуры микрошлиф рассматривается в металлографический микроскоп.

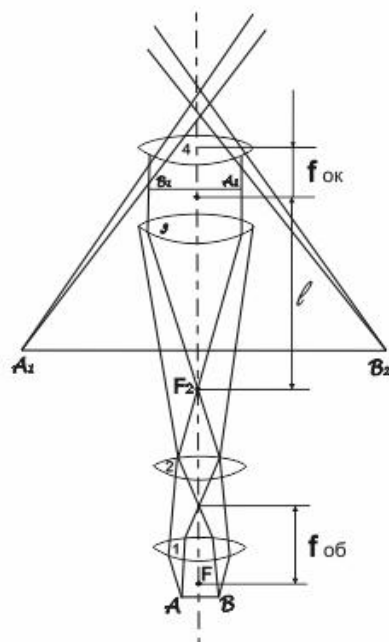


Рис 2. Оптическая схема микроскопа

Основные сведения из теории микроскопа. Наименьшее расстояние, на котором человеческий глаз отчетливо видит рассматриваемый предмет, равняется 250 мм и называется расстоянием ясного зрения. Если предмет меньше 0,2 мм, то на расстоянии ясного зрения нельзя различить его детали и форму. Для рассмотрения таких предметов человеческий глаз необходимо вооружить оптическим прибором, увеличивающим угол зрения. Простейшим прибором является лупа, дающая увеличение от 2,5 до 25 раз. Для получения больших увеличений применяются микроскопы.

Металлографический микроскоп состоит из оптической, осветительной и механической систем. Оптическая схема микроскопа приведена на рис. 2. В микроскопе две увеличивающие оптические системы – объектив (линзы 1 и 2) и окуляр (линзы 3 и 4). Рассматриваемый предмет AB помещается перед объективом немного дальше его фокуса F . При освещении предмета AB лучи света отражаются от него, проходят через линзы 1 и 2 объектива, преломляются в них, проходят через линзу 3 окуляра и дают обратное увеличение, действительное изображение предмета B_1A_1 . При рассмотрении глазами изображения B_1A_1 через линзу 4, являющуюся лупой, будет видно мнимое, увеличенное обратное изо-

бражение B_2A_2 , которое и является окончательным изображением предмета. Обычно изображение B_2A_2 проектируется на расстоянии ясного зрения 250 мм.

Окулярный микрометр предназначен для измерения микроскопических объектов – величины зерен, глубины цементированного или азотированного слоев и т.д. Окуляр – микрометр представляет собой обычный окуляр, в который между линзами вставлена стеклянная пластинка длиной 5 мм со шкалой, имеющей деления ценой 0,1 мм.

Цель работы

Ознакомиться с методами микроскопического анализа, исследовать структуры металлов и сплавов при больших увеличениях с помощью микроскопа.

Задание

1. Изучить устройство и принцип работы металлографического микроскопа.
2. Зарисовать оптическую схему микроскопа.
3. Приготовить микрошлиф стали и рассмотреть его под микроскопом до и после травления.
4. Кратко описать методику приготовления микрошлифа.
5. Зарисовать микроструктуру образца стали.
6. Определить цену деления окуляра – микрометра.
7. Измерить величину микроскопического объекта при помощи окуляра – микрометра.
8. Написать отчет по работе.

РАБОТА 3
ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ
ЦИНК – ОЛОВО

Метод исследования процесса кристаллизации металлов и сплавов называют термическим анализом. Фазовые превращения сопровождаются тепловым эффектом. Поэтому на кривых охлаждения жидких металлов или сплавов можно наблюдать либо площадки (это указывает на то, что фазовые превращения происходят при постоянной температуре), либо перегибы. В этом случае фазовые превращения протекают в интервале температур. Температуры перехода из жидкого состояния в твердое называют критическими, а соответствующие им точки на кривых охлаждения – критическими точками.

Термический анализ сводится к фиксированию изменения температуры сплава во времени, построению по полученным данным кривых охлаждения в координатах температура – время и нахождению на них критических точек.

При охлаждении расплавленного металла до теоретической температуры кристаллизации t_s снижение температуры прекращается, и на кривой появляется площадка (рис. 3, а), которая отвечает процессу непосредственной кристаллизации. Это связано с тем, что отвод тепла в окружающую среду полностью компенсируется выделением скрытой теплоты кристаллизации.

Исследования показали, что для затвердевания следует несколько переохладить расплав, т.е. несколько снизить его температуру ниже t_s . В этом случае начинается интенсивный процесс затвердения, при котором выделение тепла повышает температуру до значения, близкого к t_s , и сохраняет неизменной до полного затвердения (рис. 3, б). Температура переохлаждения t_n определяется точкой *а*.

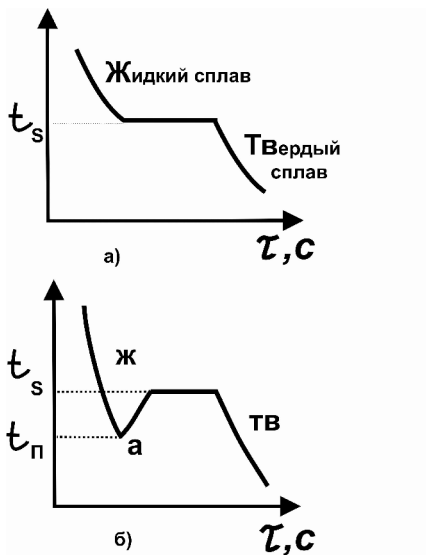


Рис. 3. Кривые охлаждения чистого металла:

а – без переохлаждения; *б* – с переохлаждением

В отличие от процессов кристаллизации чистых металлов, протекающих при одной температуре, кристаллизация сплавов идет в некотором интервале температур: начала $t_{кр}^H$ и конца $t_{кр}^{кон}$ кристаллизации. Существующие сплавы делятся на две большие группы:

- 1) однородные сплавы, состоящие из одной твердой фазы (либо твердые растворы, либо сплавы – химические соединения);
- 2) неоднородные сплавы – механические смеси, состоящие из двух и более компонентов в твердом состоянии.

Если компоненты сплава обладают полной взаимной растворимостью, кристаллизация в интервале температур от $t_{кр}^H$ до $t_{кр}^{кон}$ протекает постепенно, поскольку скрытая теплота кристаллизации уменьшает скорость охлаждения. Далее идет охлаждение твердого раствора (рис. 4, а).

Охлаждение сплава, компоненты которого нерастворимы и образуют механические смеси (рис. 4, б), протекает при постепенном уменьшении скорости охлаждения (кривая *ab* – кристаллизация одного из компонентов). Затем наблюдается температурная остановка *bc*, соответствующая одновременному затвердению компонентов.

Тонкая механическая смесь компонентов, получающаяся при их одновременной кристаллизации называется *эвтектикой*. Её характеризует постоянный состав и наиболее низкая для данного сплава температура кристаллизации.

При понижении температуры идет изменение состава жидкой фазы, постепенно приближающегося к эвтектическому. Это происходит вследствие выделения из расплава кристаллов так называемого избыточного компонента, который кристаллизуется до образования эвтектики.

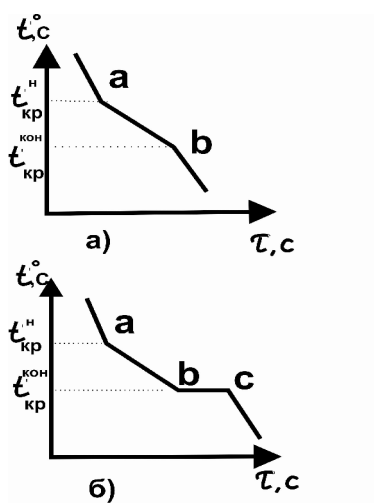


Рис. 4. Кривые охлаждения: сплава – твердого раствора (а) и сплава – механической смеси (б)

В зависимости от системы такие сплавы могут состоять только из эвтектики (эвтектические сплавы) или из эвтектики и одного из избыточных компонентов (доэвтектические и заэвтектические сплавы).

Компоненты сплавов системы Zn – Sn в жидком состоянии растворяются неограниченно, а в твердом – нерастворимы и образуют механическую смесь. Сплав, содержащий 8% Zn и 92% Sn, является эвтектическим.

Методика проведения работы. Сплав предложенного состава помещают в тигель и ставят в электропечь (рис. 5). После расплавления сплава печь отключают. По достижении температуры, указанной в табл.1 для сплава данного со-

става, производят регистрацию показаний гальванометра через каждые 30-60 секунд до температуры 180°C. Отсчет времени производят по секундомеру.

По опытным данным строят кривую охлаждения изучаемого сплава: на оси ординат откладывают температуру (в интервале, в котором проводились замеры), на оси абсцисс – время.

На кривой охлаждения находят критические точки и определяют критические температуры.

В ряде случаев из-за отсутствия четкого перегиба кривой затруднительно определение критических точек. Тогда, для определения начала кристаллизации через экспериментальные точки начальной стадии охлаждения проводят прямую линию. Отклонение полученных точек от этой линии свидетельствует о замедлении скорости охлаждения и начале процесса кристаллизации.

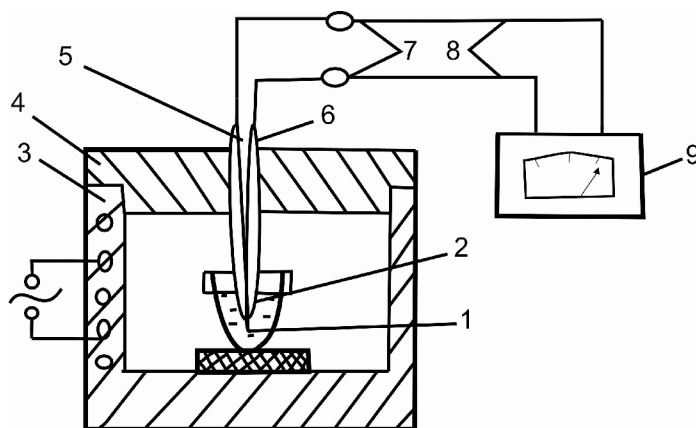


Рис 5. Схема лабораторной установки:

- 1 – тигель вместимостью 100-150 г;
- 2 – горячий спай термопары;
- 3 – электрическая печь сопротивления;
- 4 – крышка;
- 5 – термопара: хромель-копель;
- 6 – фарфоровый кожух термопары;
- 7 – холодный спай термопары;
- 8 – медные провода;
- 9 – гальванометр, отградуированный в °С или мВ.

Состав исследуемых сплавов системы Zn-Sn

Содержание Zn, %	-	8	20	50	80	100
Содержание Sn, %	100	92	80	50	20	-
Температура начала отсчета, °C	250	250	300	400	420	430

Цель работы

Освоить методику и провести термический анализ сплава Zn-Sn предложенного состава.

Задание

1. Провести наблюдение за процессом охлаждения Zn, Sn и системы сплавов Zn-Sn.
2. Построить кривые охлаждения Zn, Sn и системы сплавов Zn-Sn.
3. Изучить: а) назначение и сущность термического анализа; б) методику определения температур кристаллизации Zn, Sn и сплавов Zn-Sn (с построением кривых охлаждения).
4. Показания гальванометра оформить в виде табл. 2 (см. работу 4).
5. Написать отчет.

РАБОТА 4

ПОСТРОЕНИЕ И АНАЛИЗ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ ОЛОВО – ЦИНК

Диаграммы состояния (или плавкости, или затвердевания) описывают закономерности процесса кристаллизации сплавов и дают возможность определить их состав и фазовое состояние при различных температурах.

По характеру взаимодействия компонентов в процессе кристаллизации сплавы можно разделить на группы: механические смеси, твердые растворы с неограниченной и ограниченной растворимостью (с эвтектикой и перитектикой),

химические соединения (устойчивые и неустойчивые) с твердыми растворами и без них и др.

Для сплавов – механических смесей, компоненты которых в твердом состоянии не обладают взаимной растворимостью и не образуют химических соединений, характерно наличие легкоплавкой эвтектики. Примером такого сплава может быть сплав олово – цинк.

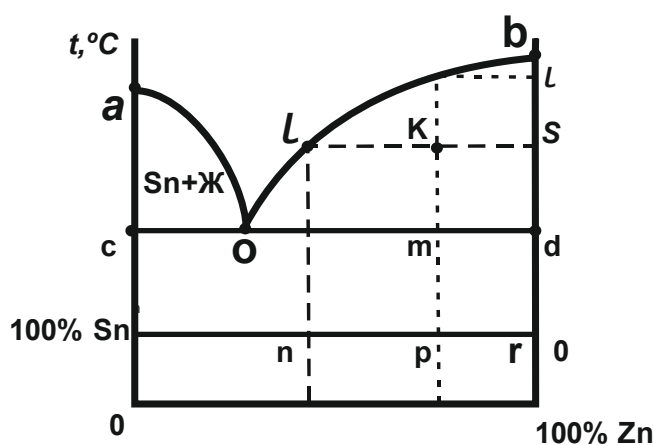


Рис. 6. Диаграмма состояния системы Sn – Zn

Линия aob (рис. 6), которая отвечает температурам кристаллизации сплавов данной системы, называется линией *ликвидус*. Выше этой линии сплавы находятся в жидком состоянии. Нижняя линия cod , отвечающая концу кристаллизации, называется линией *солидус*.

Эвтектика – механическая смесь кристаллов цинка и олова образуется в конце кристаллизации при температуре, определяемой на диаграмме линией солидус. Точка o соответствует составу эвтектики. Ниже линии co находятся доэвтектические сплавы избыточного компонента Sn и эвтектики, ниже линии od – заэвтектические состава Zn и эвтектики. В областях между линиями ликвидус и солидус присутствуют жидкая и твердая фазы.

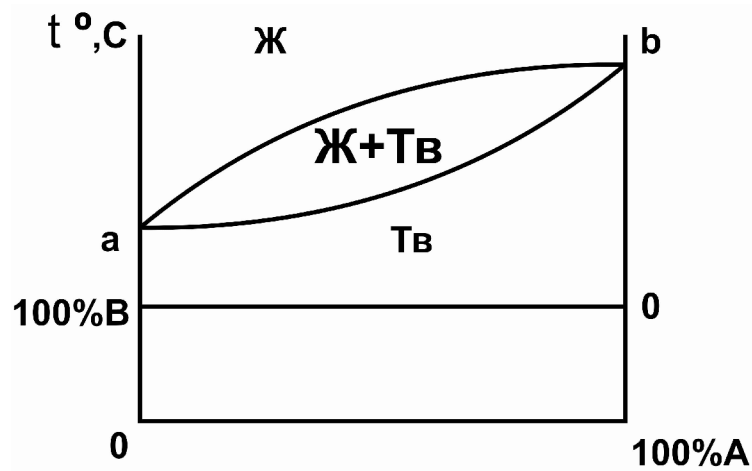


Рис. 7. Диаграмма состояния сплава с неограниченной растворимостью компонентов *A* и *B*

Диаграмма состояния сплава, компоненты которого обладают неограниченной растворимостью друг в друге не только в жидком, но и в твердом состоянии, приведена на рис. 7. Верхняя линия *ab* на диаграмме указывает на начало затвердевания и является линией ликвидус, а нижняя – на конец затвердевания и является линией солидус. В отличие от диаграммы для сплавов – механических смесей здесь линия солидус кривая и наклонная. Сплавы этого типа (Fe-Ni, Co-Cr и др.) легко пластически деформируются под давлением и обладают высокой коррозионной стойкостью.

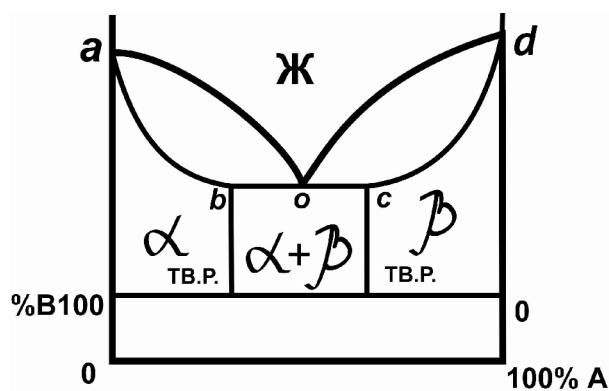


Рис. 8. Диаграмма состояния сплава с ограниченной растворимостью компонентов *A* и *B*

Случаи образования твердых растворов с ограниченной растворимостью являются весьма важными в практике. Диаграмма состояния таких сплавов (рис. 8) представляет как бы комбинацию двух предыдущих диаграмм. При кристаллизации ниже линии солидус ab выделяются кристаллы твердого раствора компонента А в компоненте В (α -фаза), а в области ниже линии солидус cd – твердого раствора компонента В в компоненте А (β -фаза). При температуре, отвечающей горизонтальной площадке boc , образуется эвтектика из α - и β -фаз. К таким системам относятся сплавы Al-Si, Sn-Pb и др.

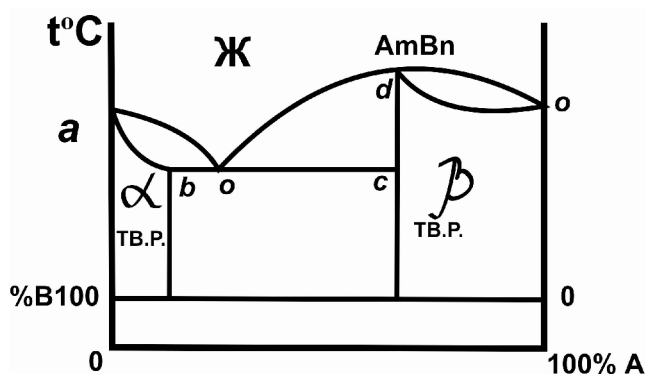


Рис. 9. Диаграмма состояния системы с устойчивым химическим соединением и твердым раствором

Если между компонентами А и В образуется химическое соединение, на диаграмме состояния (рис. 9) появляется максимум в точке d . Соединение A_mB_n дает с компонентом А твердый раствор – β -фазу, т.е. эта часть диаграммы характеризует полную взаимную растворимость компонентов в твердом состоянии. Соединение A_mB_n с компонентом В дает частичную растворимость (твердый раствор α и эвтектика по линии boc). К сплавам этого типа относятся карбиды Fe_3C , WC , TiC , TaC и др.

Таким образом, с помощью диаграммы состояния можно определить без проведения термоанализа критические температуры сплавов, состав и массу фаз сплавов с помощью *правила отрезков*, выбрать необходимый сплав и технологические параметры процессов литья и термообработки.

Исходными данными для построения диаграммы состояния системы Zn-Sn являются значения критических температур, полученные в предыдущей работе и занесенные в табл. 2.

Таблица 2

Критические температуры металлов и сплавов системы Zn-Sn

Состав сплава	Zn, %	-	8	20	50	80	100
	Sn, %	100	92	80	50	20	-
$t_{кр}^{нач}$							
$t_{кр}^{кон}$							

Строят систему координат. На оси абсцисс с интервалом 10% откладывают значения содержания цинка в сплаве (от 0 до 100%), а на оси ординат – температуру с интервалом 100°C (от 0 до 500°C). На оси абсцисс откладывают значения составов исследованных сплавов. Из этих точек восстанавливают перпендикуляры и наносят на них значения температур начала и конца кристаллизации. На левой ординате откладывают температуру кристаллизации олова, а на правой – цинка. Точки начала кристаллизации соединяют линией и получают две ветви линии ликвидус. Точки конца кристаллизации образуют линию солидус (в пределах ошибки измерений это горизонтальная линия).

На рисунках изображают структуру доэвтектического, эвтектического и заэвтектического сплавов.

Проводят количественный анализ сплава с помощью правила отрезков. Через точку, указанную преподавателем, например точку k (рис. 6), проводят горизонталь lk до пересечения с линией ликвидус и правой ординатой. Прямая ln указывает на состав жидкой фазы, sdr – на состав твердой фазы.

Масса твердой фазы определяется отношением, %:

$$m_{тв.фазы} = \frac{lk}{ls} \cdot m_{сплава} ;$$

масса жидкой фазы:

$$m_{ж.фазы} = \frac{sk}{lS} \cdot m_{сплава}.$$

В затвердевшем сплаве доля эвтектической составляющей:

$$n_{эвтектики} = \frac{om}{od} \cdot 100,$$

для кристаллов цинка:

$$n_{эвтектики} = \frac{md}{od} \cdot 100.$$

Цель работы

Освоить методику построения диаграммы состояния на примере системы Zn-Sn и провести ее анализ с помощью правила отрезков.

Задание

1. Изучить методику построения диаграммы состояния системы сплавов Zn-Sn.
2. Построить диаграмму с характеристикой линий и указанием состояния и структуры сплава в различных областях диаграммы.
3. Провести анализ диаграммы состояния с помощью правила отрезков.
4. Составить отчет о работе.

РАБОТА 5

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

Термическая обработка – это совокупность операций нагрева до определенной температуры, выдержки при этой температуре и последующего

охлаждения изделий из металлов и сплавов с целью изменения их структуры и свойств. Ее подразделяют на отжиг, нормализацию, закалку и отпуск.

Отжиг изделий осуществляется путем медленного нагрева их в печи, выдержки при определенной температуре и медленном охлаждении вместе с печью. Отжиг применяется для устранения внутренних напряжений и внутрикристаллической ликвации, снижения твердости, повышения пластичности, вязкости и т.д.

Закалка – это термическая обработка, заключающаяся в нагреве стали выше критической точки превращения, выдержке при этой температуре и быстром охлаждении. В результате этого процесса твердость изделий резко повышается. В соответствии с диаграммой состояния «Железо – цементит», температура нагрева зависит от содержания углерода в стали. Так, среднеуглеродистые доэвтектоидные стали (40, 45, 50) нагревают на 30-50°С выше линии GS в верхней части диаграммы состояния «железо – цементит» (рис. 10), т.е., $Ac_3 + (30-50^\circ\text{C})$ для перевода феррито-перлитной структуры в аустенитную. Для высокоуглеродистых, заэвтектоидных сталей (У9, У10, У12) нормальной температурой закалки является температура на 30-50°С выше линии PSK , т.е. $Ac_1 + (30-50^\circ\text{C})$.

Качество закаленных изделий зависит от температуры нагрева, времени выдержки изделий в печи и скорости охлаждения. Охлаждение проводят с применением различных закалочных сред: воды, воздуха, масла, расплавов солей, растворов солей, кислот, щелочей. Если принять охлаждающую способность воды при 20°С за единицу, то относительная охлаждающая способность 10% водного раствора поваренной соли составит 1,23; масла 0,20; спокойного воздуха 0,03 и т.д.

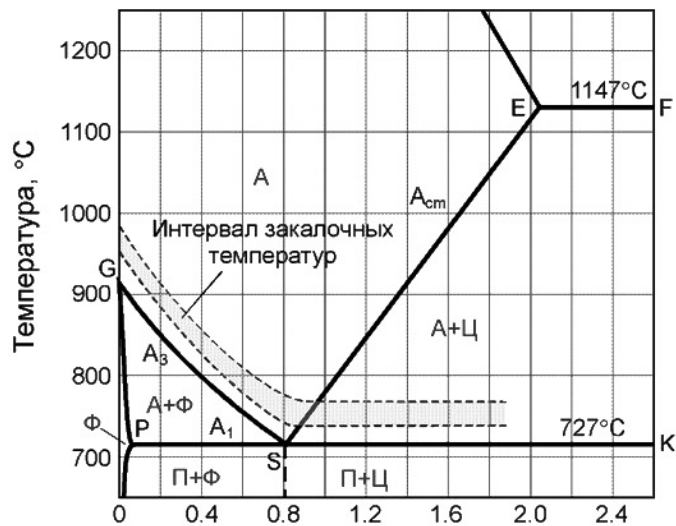


Рис. 10. Оптимальный интервал закалочных температур углеродистой стали (T)

В зависимости от скорости охлаждения при закалке образуются следующие структуры. *Мартенсит* получают при скорости охлаждения 180-200 град/с. Это продукт начальной стадии распада аустенита, когда углерод при высокой скорости охлаждения не успевает выделиться в виде цементита при переходе γ –железа в α –железо, поэтому углерод остается в кристаллической решетке α -железа в виде пересыщенного твердого раствора. Мартенсит закалки имеет неравновесную структуру, тетрагональную решетку, игольчатое строение, высокую твердость (НВ 500-600), самую низкую плотность по сравнению с другими структурами, при нагревании неустойчив.

Троостит – продукт распада аустенита при скорости охлаждения 80-100 град/с. При такой скорости охлаждения аустенит при переходе γ -железа в α -железо распадается с образованием механической смеси феррита и цементита высокой дисперсности, т.к. рост зерен этих структур затруднен. Твердость троостита НВ 400.

Сорбит – продукт распада аустенита при скорости охлаждения 50 град/с. Также является смесью феррита и цементита, но зерна в 10 раз крупнее, чем в тростите, т.к. при меньшей скорости охлаждения зерно успевает расти. Структура более вязкая, пластичная, но менее твердая (НВ 300).

Структуры, полученные при закалке стали, неравновесны, тверды (особенно мартенсит), имеют внутренние напряжения, поэтому изделия не могут применяться сразу после закалки. Для устранения этих недостатков необходимо проводить термическую обработку - *отпуск*, состоящую в медленном нагревании изделий до температуры ниже фазового превращения A_{c1} с последующим охлаждением обычно на воздухе. В результате такой обработки частично или полностью снимаются внутренние напряжения, образуется более равновесная структура, пластинчатая форма цементита превращается в глобулярную, что улучшает механические свойства.

Оборудование для закалки. Нагрев образцов стали производится в муфельной электропечи, конструкция которой приведена на рис. 11. Печь представляет собой металлический корпус 1, внутри которого расположен муфель, собранный из четырех шамотных плит 2, в каждой из которых помещены нагревательные спирали 3. На полу печи установлена керамическая плитка 4, на которой помещают нагреваемые образцы. Пространство между плитами и корпусом заполнено теплоизоляционным материалом. Спереди рабочая камера закрывается керамической дверцей 5 с металлической обшивкой. В задней стенке печи имеется отверстие 6 для установки термопары.

Регулировка температуры в печи осуществляется рычажным реостатом, изготовленным в виде подставки к печи 7. Реостат вводят и выводят передвижением ручки 8, расположенной на правой боковой стенке подставки, где сделаны надписи «введен» и «выведен».

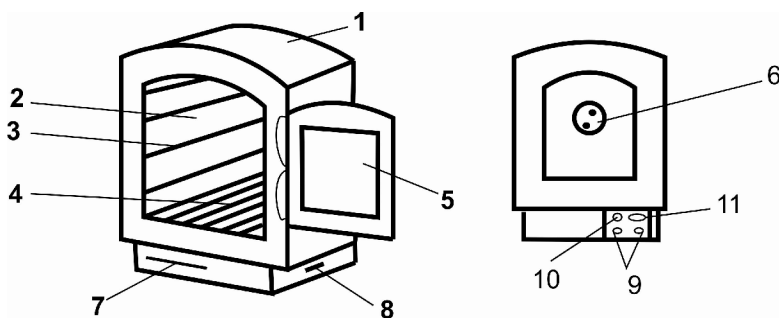


Рис. 11. Конструкция муфельной печи

На задней стенке подставки находятся две клеммы 9 для подключения шнура и по три штепсельных гнезда 10 с цифрами 1, 2, 3. При включении штепсельной вилки 11 в гнезда А и Б печь потребляет полную мощность, а при включении в гнезда Б и В – рабочую мощность.

Максимальная температура нагрева печи 1000°С. Время разогрева до максимальной температуры 120 мин. Размеры рабочей камеры печи 110x110x210 мм, габариты печи: высота 425 мм, ширина 280 мм, длина 360 мм. Печь работает от сети переменного тока напряжением 110, 127 или 220 В.

Перед тем, как включить печь, реостат выводят, т.е. ручку 8 ставят в крайнее правое положение, а штепсельную вилку 11 включают в гнезда. Затем печь включают в сеть. Когда достигнута максимальная температура, штепсельную вилку переставляют в гнезда. Если необходима меньшая температура, постепенно вводят реостат передвижением ручки 8 справа налево.

Порядок проведения работы. Образцы для термообработки должны быть цилиндрической или прямоугольной формы диаметром или толщиной 10-15 мм, высотой 10-15 мм из углеродистой конструкционной стали 40, 45, 50 или из углеродистой инструментальной стали У9, У10, У 12.

Общее время нагрева, состоящее из собственно времени нагрева и времени выдержки при температуре закалки (норма нагрева) определяют, пользуясь данными табл. 3.

Вначале определяют скорость охлаждения в различных средах. Для этого необходимо взять наиболее распространенные закалочные среды, охлаждающие с различной скоростью, – воду (скорость охлаждения 600 град/с) и масло (скорость охлаждения 150 град/с), в результате чего будут получены различные структуры с различными механическими свойствами. Образцы помещают в печь, нагретую до температуры закалки для данной марки стали, и выдерживают в печи требуемое время. При нагревании образцов из стали 40, 45 и 50 исходная феррито-перлитная структура превратится в структуру аустенита, а в образцах из стали У9, У10, У12 при температуре закалки будет структура аустенит и цементит, т. Е. часть цементита останется нерастворенной.

Нормы нагрева стали в минутах при термической обработке

Температура нагрева, °С	Форма образца		
	круг на 1 мм диаметра	квадрат на 1 мм толщины	пластина
600	2	3	4
700	1,5	2,2	3
800	1	1,5	2
900	0,8	1,2	1,6
1000	0,4	0,6	0,8

Последовательно один за другим образцы вынимают из печи, часть из них охлаждают в воде, а часть – в масле при непрерывном энергичном движении образца в охлаждающей жидкости. При охлаждении в воде происходит распад аустенита с образованием мартенсита. При охлаждении в масле образуется смешанная мартенсито-трооститная структура.

Образцы протереть, оба торца зачистить на шлифовальной бумаге, определить твердость закаленных образцов и изучить их микроструктуру.

Так как при отпуске происходит изменение структуры и свойств стали тем в большей степени, чем выше температура, следует применить различную температуру отпуска от низкой (200°С) до высокой (600°С). Время выдержки при температуре отпуска определяется из расчета 2-3 мин на 1 мм толщины образца.

В результате отпуска при 200°С происходит превращение мартенсита закалки в мартенсит отпуска, снижение внутренних напряжений и хрупкости; твердость остается без изменений.

В результате отпуска при 400°С происходит превращение мартенсита в троостит отпуска, мелкодисперсную феррито-цементитную смесь, твердость снижается.

В результате отпуска при 600°С образуется сорбит отпуска, феррито-цементитная смесь более крупная, чем троостит; твердость еще более снижается.

Условия охлаждения после отпуска не влияют на твердость и структуру стали. Обычно охлаждение проводят на воздухе, но для ускорения работы образцы после отпуска следует охлаждать в воде.

Торцы охлажденных образцов зачищают на шлифовальной бумаге, изучают микроструктуру и определяют твердость.

Цель работы

Изучить устройство муфельной печи, методику проведения и режимы закалки и отпуска стали.

Задание

2. Изучить микроструктуру и определить твердость образцов углеродистой стали в исходном состоянии.

3. Произвести закалку в воде и масле образцов стали.

4. Определить твердость и изучить микроструктуру образцов после закалки.

5. Произвести отпуск при 200, 400 и 600°C закаленных образцов.

6. Определить твердость после каждого отпуска.

7. Построить кривые влияния отпуска на изменение твердости в координатах «температура отпуска – твердость».

8. Составить отчет о работе.

РАБОТА 6

КИНЕТИКА ОКИСЛЕНИЯ МЕТАЛЛОВ НА ВОЗДУХЕ

Процесс самопроизвольного разрушения металлов под воздействием окружающей среды называется *коррозией*. Коррозионные процессы протекают на границе раздела фаз при взаимодействии твердого вещества – металлической

поверхности с газом или жидкостью. Такой механизм называют гетерогенным, т. е. переход металла в ионное состояние и восстановление окислительного компонента не являются независимыми сопряженными стадиями, разделенными во времени или пространстве, а происходят в одном акте.

Важнейшим примером коррозии является газовая коррозия – процесс разрушения металлов и сплавов в результате химического взаимодействия с газами при высоких температурах, когда невозможна конденсация влаги на поверхности металла. Причина газовой коррозии металлов – их термодинамическая неустойчивость в данной газовой среде при определенных внешних условиях (температуре или давлении). Типичный случай газовой коррозии имеет место при взаимодействии металла с кислородом.

Образование на поверхности металла оксидной пленки может быть следствием:

- адсорбции молекул кислорода поверхностью металла, соприкасающейся с атмосферой;
- химического взаимодействия металла и газа с образованием химического соединения.

В результате такого взаимодействия образуется сначала мономолекулярный, а затем полимолекулярный слой оксидов. В дальнейшем атомы кислорода диффундируют через образовавшийся слой оксида, одновременно с этим в противоположном направлении диффундируют ионы металла. Реагируя с кислородом, ионы металла образуют оксид, что приводит к появлению новых слоев пленки, т.е. к ее утолщению. По мере утолщения пленки процесс диффузии будет затрудняться. Чтобы возникающая оксидная пленка тормозила дальнейшее развитие коррозионного процесса, т.е. обладала защитными свойствами, она должна удовлетворять следующим требованиям:

- быть сплошной, беспористой;
- иметь хорошее сцепление с металлом;
- иметь коэффициент термического расширения, близкий к величине этой характеристики для металла;

- быть химически инертной по отношению к данной агрессивной среде;
- обладать твердостью и износостойкостью.

Условие сплошности оксидной пленки определяется соотношением между объемом образованного оксида (V_{MeO}) и окисляемого металла (V_{Me}) и формулируется следующим образом: *молекулярный объем оксидной пленки должен быть больше атомного объема металла* $V_{Me} / V_{MeO} > 1$. В том случае, когда объем пленки меньше объема металла, израсходованного на ее образование, т.е. $V_{Me} / V_{MeO} < 1$, образующаяся пленка не сплошная, не обладает защитными свойствами, металл подвергается дальнейшей коррозии.

Выполнение условий сплошности пленки всегда является необходимым, но в ряде случаев недостаточным условием. В реальных условиях у пленок с $V_{Me} / V_{MeO} \gg 1$ может и не быть высоких защитных свойств, как например у MoO_3 , WO_3 . Поэтому ориентировочно считают, что если соблюдается условие $1,0 < V_{Me} / V_{MeO} < 2,5$, пленка является сплошной, защитной.

Если же $V_{Me} / V_{MeO} < 2,5$, пленка может быть незащитной, так как в процессе роста ее могут возникать напряжения, разрушающие пленку, нарушающие ее сплошность.

Скорость процесса газовой коррозии зависит от ряда факторов: природы металла (состава сплава), характера и температуры газовой среды, от защитных свойств образующихся продуктов коррозии, времени контакта газовой среды с объектом воздействия.

При взаимодействии металла с газообразными веществами, которое сопровождается образованием пористой оксидной пленки на поверхности металла, выделяют следующие последовательно протекающие стадии:

- транспортировку газов к поверхности раздела фаз;
- адсорбцию газа на поверхности металла;
- химическое взаимодействие;
- отвод (десорбция, возгонка) продуктов коррозии.

При образовании незащитной (пористой) пленки наиболее медленной – лимитирующей стадией процесса является химическое взаимодействие (рис.

12, а), т.е. скорость роста постоянная и контролируется реакцией образования пленки из металла и кислорода (*кинетический контроль*). Наблюдается линейный закон роста пленки:

$$\Delta m = k_1 \cdot \tau,$$

где Δm – удельное увеличение массы образца, г/м;

k_1 – постоянная, г/(м²·ч);

τ - время окисления металла, ч.

Процесс образования защитной пленки на поверхности металла (рис. 12, б) можно разбить на следующие стадии:

- переход металла в форме ионов и электронов из металлической фазы в оксид;
- перемещение ионов металла и электронов в слое оксида;
- транспортировку кислорода к поверхности раздела оксид – газ;
- адсорбцию кислорода на поверхности оксидной пленки;
- ионизацию адсорбированного кислорода ($O_{\text{адс}} - 2e \rightarrow \pm O^{2-}$);
- перемещение ионов кислорода в слое оксида;
- химическое взаимодействие с образованием оксида.

У обладающих защитными свойствами сплошных пленок скорость роста часто контролируется диффузией реагентов, которая является наиболее заторможенной стадией процесса (*диффузионный контроль*) и сопровождается самоторможением: по мере утолщения пленки уменьшается скорость диффузии через нее реагентов, а следовательно, и скорость коррозионного процесса. Иными словами, диффузионный характер процесса проявляется тем резче, чем толще и качественнее пленка. В данном случае она растет по параболическому закону:

$$\Delta m^2 = k_2 t ,$$

где k_2 - постоянная, г²/(м⁴·ч).

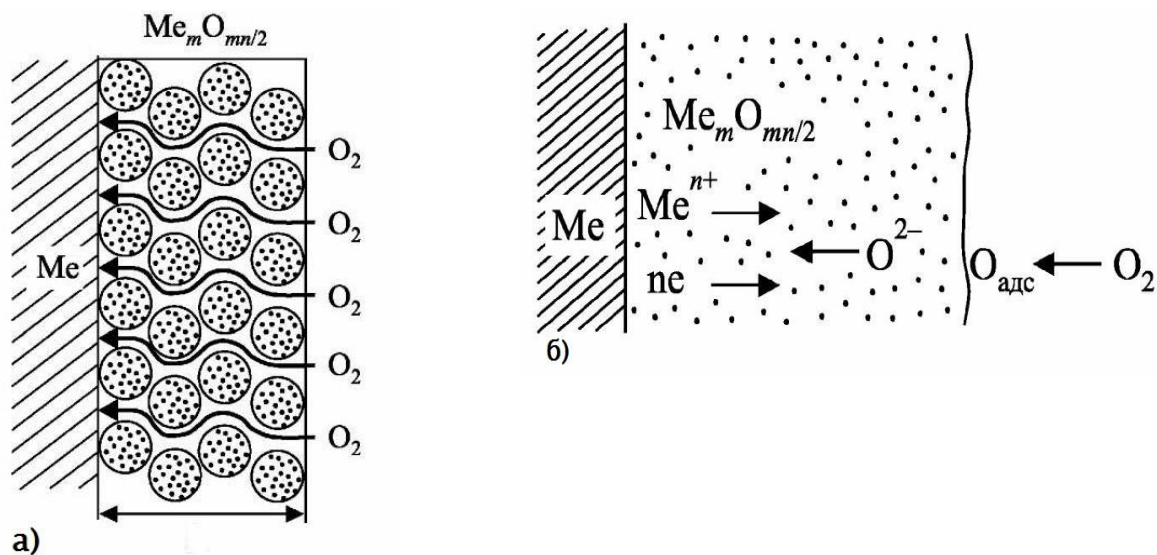
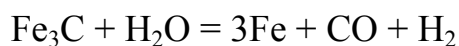
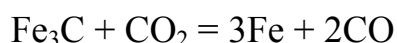
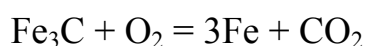


Рис. 12. Схема процесса образования пористой оксидной пленки (а) и защитной пленки (б) на поверхности металла

Железоуглеродистые сплавы при нагревании выше 600°C покрываются пленкой – окалиной, имеющей сложное строение. Наиболее близкий к железу слой оксида железа (II) обладает лучшими защитными свойствами, остальные слои имеют поры и трещины и легко отслаиваются. Наряду с окислением железа в стали происходит взаимодействие карбида железа с кислородом воздуха и кислородсодержащими веществами:



В результате поверхностный слой обедняется углеродом, что приводит к изменению структуры сплава и ухудшает его механические и антикоррозионные свойства. Содержание примесей марганца, серы, фосфора не оказывает заметного влияния на коррозию стали.

Работа состоит в периодическом определении изменения массы образцов металлов, помещенных в тигли из огнеупорных материалов (окисная пленка осыпающаяся), в атмосфере электрической печи, нагретой до определенной температуры. Образцы предварительно зачищают наждачной бумагой, измеряют

размеры штангенциркулем с точностью до $\pm 0,1$ мм, обезжиривают, протирают фильтровальной бумагой и взвешивают. Результаты измерений заносят в табл.4.

Таблица 4

Поверхность, м ²	Время от начала опыта, ч	Масса до опыта, г	Масса после опыта, г	Удельное увеличение массы

Пользуясь справочными данными (приложение 4), рассчитывают объемное отношение для окисла металла (окислов компонентов сплава) по формуле:

$$V_{me} / V_{meO} = (M \rho_{me}) / (m \rho_{ок} A),$$

где V_{me} — объем металла, израсходованного на образование 1 моля окисла, см³;

V_{meO} — объем 1 моля окисла, см³;

M — молекулярная масса окисла, г;

A — атомная масса металла, г;

$\rho_{ок}$ — плотность окисла, г/см³;

ρ_{me} — плотность металла, г/см³;

m — число атомов металла в молекуле окисла.

Рассчитывают среднюю скорость окисления — *положительный показатель изменения массы* K_m^+ по формуле, $г/(м^2 \cdot ч^2)$:

$$K_m^+ = \Delta m^+ / \tau,$$

где Δm^+ — удельное увеличение массы образца, г/м².

$$\Delta m^+ = (m_\tau - m_0) / S,$$

где S — поверхность образца, м.

Если известен химический состав образующейся окислы, то по положительному показателю изменения массы рассчитывают *отрицательный показатель изменения массы* K_m^- :

$$K_m^- = K_m^+ (A / 8n),$$

где n — валентность металла.

Затем определяют *глубинный показатель коррозии* P , мм/год:

$$P = (K_m^- / \rho_{me}) \cdot 8,76.$$

Цель работы

Проследить рост окисной пленки на поверхности металла во времени при высоких температурах и определить ее защитные свойства.

Задание

- 1) Подготовить образцы металла.
- 2) Определить изменение массы образцов во времени при заданной температуре.
- 3) Построить график зависимости $\Delta m^+ = f(\tau)$.
- 4) Определить основные показатели коррозионного процесса.
- 5) Сформулировать свое суждение о том, удовлетворяет ли окисел данного металла условию сплошности.
- 6) Составить отчет по работе.

РАБОТА 7

ЭЛЕКТРОДНЫЕ ПОТЕНЦИАЛЫ МЕТАЛЛОВ

Электрохимическая цепь – это система, состоящая минимум из двух фаз, одна из которых является раствором электролита, вторая – металлом. На границе раздела фаз происходит переход заряженных частиц (ионов и электронов) из одной фазы в другую в результате электродного процесса, обусловленного стремлением системы к термодинамическому равновесию:

$Ox + ze \rightleftharpoons Red$, где Ox – вещество в окисленной форме, Red – вещество в восстановленной форме, Z – число электронов (e), участвующих в реакции.

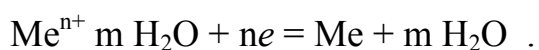
Работа по перемещению единичного заряда через границу фаз называется *потенциалом*. При этом каждая фаза приобретает электрический заряд, и на границах разделов фаз возникает двойной электрический слой, которому соответствуют скачки потенциалов. Электрической характеристикой цепи является ее электродвижущая сила (ЭДС), представляющая собой сумму скачков потенциалов.

При погружении металла в электролит в результате взаимодействия поверхности металла с раствором протекают следующие процессы:

1) анодный процесс – переход ионов металла в раствор:



2) катодный процесс – разряд ионов из раствора на поверхности металла:



В настоящее время нет достаточно надежных методов экспериментального определения или теоретического вычисления абсолютных значений электродных потенциалов, поэтому их определяют по отношению к стандартному водородному электроду, потенциал которого при всех температурах условно принят равным нулю. При измерениях электродных потенциалов металлов вместо водородного электрода применяют другие электроды сравнения, пересчитывая затем полученные значения по водородному электроду.

Работа заключается в измерении с помощью высокоомного вольтметра Щ-300 ЭДС электрохимической цепи, составленной из выданного преподавателем электрода и хлорсеребряного электрода сравнения, и расчета по экспериментальным данным электродного потенциала металла. Схема установки представлена на рис. 13.

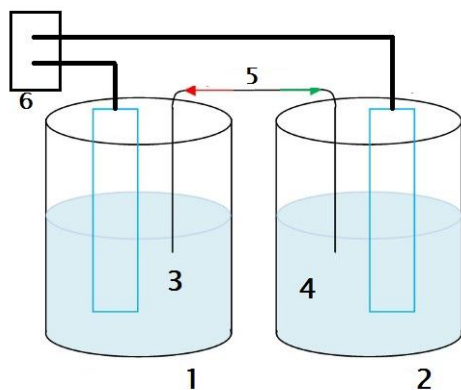


Рис. 13. Схема установки для определения электродного потенциала металла: 1 — стакан с рабочим раствором; 2 — стакан с насыщенным раствором хлорида калия; 3 — исследуемый электрод; 4 — хлорсеребряный электрод; 5 — солевой мостик; 6 — цифровой вольтметр Щ-300

Готовят однопроцентные растворы серной кислоты, едкого натрия и хлористого натрия. Исследуемый электрод очищают наждачной бумагой или содовой кашицей, промывают водопроводной и дистиллированной водой. Хлорсеребряный электрод помещают в насыщенный раствор хлористого калия, исследуемый электрод — в один из подготовленных растворов электролитов. Включают в сеть переменного тока цифровой вольтметр. Через 10-15 минут, необходимых для стабилизации его температурного режима, измеряют и фиксируют в табл.5 ЭДС цепи с интервалом 2 минуты до получения стабильного результата, отмечают и записывают также температуру окружающего воздуха.

Эксперимент повторяют с использованием других рабочих растворов.

По величине ЭДС (E), полученной при измерениях с помощью вольтметра, определяют электродный потенциал металла:

$$E_{Me} = E + E_{хсэ},$$

где $E_{хсэ}$ — потенциал насыщенного хлорсеребряного электрода при температуре опыта (приложение 5);

E_{Me} — потенциал металла по отношению к водородному электроду, В.

Таблица 5

Металл	$E_{ст}, В$	Потенциал относительно AgCl – электрода, В						$E_{расч}, В$
		0'	2'	4'	6'	8'	10'	
Алюминий	-1,66							
Железо	-0,440							
Кадмий	-0,402							
Магний	-2,37							
Марганец	-1,180							
Медь	0,337							
Никель	-0,23							
Свинец	-1,26							
Титан	-0,763							
Цинк	-0,76							

Цель работы

Экспериментально определить значения электродных потенциалов металлов в различных средах.

Задание

- 1) Измерить в различных средах ЭДС электрохимической цепи, составленной из заданного и хлорсеребряного электродов.
- 2) Рассчитать электродный потенциал металла.
- 3) Сделать выводы о влиянии среды на значение потенциала металла.
- 4) Составить отчет по работе.

РАБОТА 8

ИСПЫТАНИЕ НА ТВЕРДОСТЬ ПО РОКВЕЛЛУ

Задание

1. Произвести испытание на твердость по Роквеллу образцов стали в отожженном и закаленном состоянии, сплавов цветных металлов и твердых сплавов.
2. Определить твердость.
3. Составить отчет о работе.

Цель работы

Цель работы — научить учащихся самостоятельно производить испытание на твердость по Роквеллу. В процессе выполнения работы учащиеся должны изучить: устройство прибора типа Роквелла; выбор нагрузки и наконечника; порядок подготовки образцов; контроль прибора; порядок проведения испытания.

Приборы материалы и инструменты

Для проведения работы необходимо иметь: прибор типа Роквелла; образцы стали в отожженном и закаленном состоянии, сплавов цветных металлов и твердых сплавов; наждачное точило; напильник; шлифовальную бумагу.

Схема испытания и величина твердости по Роквеллу

Испытание на твердость по Роквеллу производится вдавливанием в испытываемый образец алмазного конуса с углом 120° или стального закаленного шарика диаметром 1,59 мм (1/16«).

Величина твердости представляет собой разность между глубиной отпечатков, получаемых на испытываемом образце от вдавливания алмазного конуса или стального шарика под двумя нагрузками определенной величины — предварительной 10 кг и общей (предварительной + основной) 60, 100 или 150 кг. Число твердости H_R выражается формулой

$$H_R = \frac{K - (h_1 - h)}{C},$$

где h — глубина внедрения наконечника под действием предварительной нагрузки 10 кг, мм;

h_1 — глубина внедрения наконечника под действием общей нагрузки 60, 100 или 150 кг после ее снятия и оставления нагрузки 10 кг (рис. 14), мм;

K — постоянная величина, равная для шарика 0,26 и для конуса 0,2;

C — цена деления циферблата индикатора, соответствующая углублению шарика или конуса на 0,002 мм.



Рис. 14. Схема определения твердости вдавливанием алмазного конуса

Твердость по Роквеллу — число отвлеченное и выражается в условных единицах. В зависимости от того, чем и при какой нагрузке производится испытание, т.е. по какой шкале — В, С или А, число твердости обозначается H_{RB} , H_{RC} и H_{RA} . Определение твердости на приборе типа Роквелла имеет большое применение для контроля качества продукции, так как позволяет испытывать как мягкие, так и самые твердые материалы, а также твердые поверхностные слои. Получающиеся отпечатки очень малы и не портят внешней поверх-

ности детали, испытание проводится очень быстро (30-60 с), и величина твердости читается по шкале прибора без каких-либо измерений и пересчетов.

Прибор типа Роквелла

Общий вид и схема прибора типа Роквелла показаны на рис. 15. Шток 1 прибора служит для закрепления в нем оправы с шариком или алмазным (или победитовым) наконечником 2. Постоянный груз 3 создает нагрузку 50 кг; если на постоянный груз 3 установлен груз 4 (40 кг), имеющий на торце красный круг, то создается нагрузка 90 кг; если на постоянный груз 3 установлен груз 4 и груз 5 (50 кг), имеющий на торце черный круг, то создается нагрузка 140 кг.

Столик 6 служит для установки на нем испытываемого образца 7. При вращении по часовой стрелке маховика 8 приводится во вращение винт 9, который, перемещаясь вверх, поднимает столик 6, и образец 7 подводится к шариком или алмазному наконечнику 2.

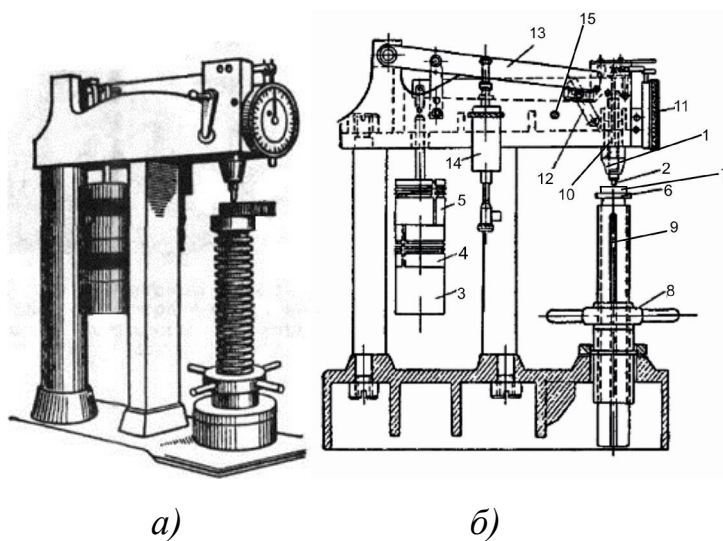


Рис. 15. Прибор типа Роквелла: а — общий вид; б — схема

При дальнейшем вращении маховика 8 сжимается пружина 10, шарик или алмаз начинает внедряться в испытываемый образец, а стрелки поворачиваются по циферблату 11. Вращают маховик до тех пор, пока маленькая стрелка 1 (рис. 16, а) на циферблате дойдет до красной точки 2, а большая стрелка 3 циферблата установится при этом приблизительно в вертикальном положении (рис. 16,

б), создается предварительная нагрузка 10 кг. Циферблат имеет кольцо с двумя шкалами — черной (С) и красной (В). Кольцо может вращаться, что необходимо для совмещения нуля черной шкалы с большой стрелкой (рис. 16, в). Такое совмещение большой стрелки циферблата с нулем черной шкалы со значком С производится независимо от того, что вдавливается в испытываемый образец — шарик или алмазный конус. Совмещение большой стрелки с нулем красной шкалы В не производится ни в каком случае.

Рукоятка 12 (рис. 15, б) служит для приведения в действие основной нагрузки. При откидывании рукоятки 12 освобождается рычаг 13, на конце которого подвешены грузы, на шарик или алмазный конус начинает действовать основная нагрузка, и создается общая нагрузка (предварительная + основная).

При вдавливании шарика общая нагрузка равна 100 кг (10 кг — предварительная нагрузка, 90 кг — основная нагрузка). При вдавливании алмазного конуса общая нагрузка равна или 150 кг (10 кг — предварительная нагрузка, 140 кг — основная нагрузка), или 60 кг (10 кг — предварительная нагрузка, 50 кг — основная нагрузка).

Под действием основной нагрузки шарик или алмазный конус все глубже проникает в испытываемый образец, при этом большая стрелка циферблата поворачивается против часовой стрелки. Время приложения основной нагрузки 5-7 с. Плавность передачи нагрузки на наконечник обеспечивает масляный успокоитель 14. Упор 15 служит для остановки рукоятки 12. Когда рукоятка 12 опускается до упора 15, большая стрелка циферблата останавливается (рис. 16, г). При поднятии рукоятки 12 (возвращением ее в исходное положение) снимается действовавшая на образец основная нагрузка и остается предварительная нагрузка. При этом большая стрелка циферблата перемещается по часовой стрелке и указывает на шкале число твердости по Роквеллу (рис. 16, д). При испытании шариком отсчет производится по красной шкале и твердость обозначается H_{RB} ; при испытании алмазным конусом под нагрузкой 150 кг отсчет производится по черной шкале и H_{RC} ;

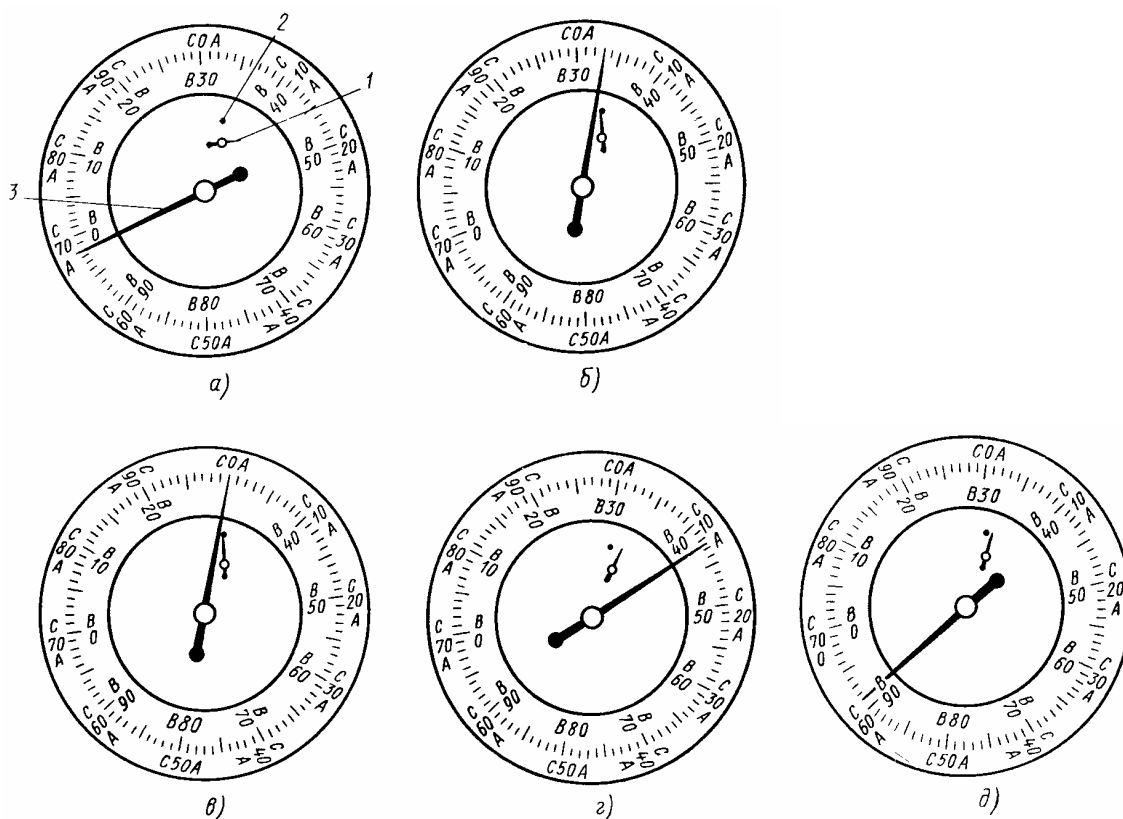


Рис. 16. Последовательное перемещение стрелок на циферблате прибора типа Роквелла при вдавливании алмазного конуса

при испытании алмазным конусом под нагрузкой 60 кг отсчет производится по черной шкале и обозначается H_{RA} . Каждое деление шкалы соответствует единице твердости и равно глубине вдавливания шарика или алмазного конуса на 0,002 мм.

Числа на циферблате расположены в направлении, противоположном вращению стрелки, так что глубина вдавливания обратно пропорциональна величине отсчета. Это означает, что чем тверже материал, тем выше отсчет. При вращении маховика 8 против часовой стрелки образец 7 освобождается от действия предварительной нагрузки, и столик 6 опускается. Нагрузка и наконечник выбираются в зависимости от твердости испытываемого металла (табл. 6).

Подготовка образца для испытания

Поверхности образца как испытываемая, так и опорная должны быть плоскими, параллельными друг другу и не должны иметь таких дефектов, как окалина, забоины, грязь, различные покрытия.

Таблица 6

Выбор нагрузки и наконечника для испытания

Примерная твердость по Бринелю	Обозначение шкалы	Вид наконечника	Нагрузка, кг	Обозначение твердости по Роквеллу	Допускаемые приделы шкалы
60—230	В	Стальной шарик	100	H _{RB}	25—100
230—700	С	Алмазный конус	150	H _{RC}	20—67
Свыше	А	То же	60	H _{RA}	Свыше 70

Все дефекты поверхности образца должны быть удалены мелкозернистым наждачным кругом, напильником или наждачной бумагой. При обработке поверхности образец не должен нагреваться выше 100-150°.

Контроль прибора

Перед испытанием на твердость по Роквеллу необходимо произвести контроль прибора с целью определения точности его показаний.

Контроль прибора производится при помощи контрольных брусков, твердость которых заранее известна. При проверке показания прибора должны находиться в пределах чисел твердости, обозначенных на контрольных брусках. Если твердость по прибору не соответствует твердости контрольных брусков, то к показаниям прибора при испытании деталей вводится соответствующая поправка.

Порядок проведения контроля аналогичен порядку проведения испытания (см. далее).

Подготовка прибора и проведение испытания

1. При испытании образцов отожженной стали, сплавов цветных металлов с предполагаемой твердостью от 60 до 230 Н_В в штوك 1 (рис. 15) прибора закрепить оправу с шариком 2 и на постоянный груз 3 (50 кг) установить груз 4 (40 кг), имеющий на торце красный круг. При испытании образцов закаленной стали с предполагаемой твердостью от 230 до 700 Н_В в шток прибора закрепить оправу с алмазным (или победитовым) наконечником и на постоянный груз 3 установить груз 4 и груз 5 (50 кг) с черным кругом. При испытании образцов твердых сплавов с предполагаемой твердостью свыше 700 Н_В и тонких поверхностных слоев (0,3—0,5 мм) образцов в шток прибора закрепить оправу с алмазным наконечником и оставить только постоянный груз 3, сняв два других груза 4 и 5. Обозначение шкалы записать в графу 2 протокола испытания.

2. Установить на приборе необходимый столик 6 в зависимости от формы испытываемого образца: для плоских образцов – столик с гладкой поверхностью, для круглых – с V-образной канавкой.

3. Установить испытываемый образец 7 на столик прибора. Образец должен плотно прилегать к столику и не должен качаться, сдвигаться, пружинить.

4. Вращением маховика 8 по часовой стрелке столик осторожно поднимать, чтобы без удара подвести образец к шарикку или острию алмазного конуса. Особенно осторожно надо подводить образец к острию алмазного конуса, так как при быстром вращении маховика образец ударится об алмазный конус, и алмаз может расколоться (выкрошиться).

5. После того как образец вплотную подведен к шарикку или алмазу, продолжать плавно вращать маховик по часовой стрелке. При этом шарик или алмаз начинает внедряться в испытываемый образец, а стрелки циферблата 11 прибора вращаются. Вращать маховик надо до тех пор, пока маленькая стрелка 1 (рис. 16, а) на циферблате дойдет до красной точки 2, а большая стрелка 3

циферблата устанавливается при этом приблизительно в вертикальном положении (допускается отклонение ± 5 делений) (рис. 16, б).

При отклонении большой стрелки от вертикального положения более чем на ± 5 делений вращением маховика против часовой стрелки предварительную нагрузку надо снять и испытание произвести вновь в другой точке образца.

6. Вращением кольца циферблата подвести нуль черной шкалы со значком С к большой стрелке (рис. 16, в).

7. Легким толчком откинуть назад рукоятку 12 (см. рис. 15) и дать ей Амопроизвольно опуститься до упора 15. Не следует ускорять опускание рукоятки нажатием на нее рукой.

8. Возвратить рукоятку 12 в исходное положение.

9. Прочитать по шкале число твердости по Роквеллу (рис. 16, д).

10. Полученный результат твердости по Роквеллу записать в графу 3 протокола испытания.

11. Вращением маховика 8 против часовой стрелки освободить образец от действия предварительной нагрузки, передвинуть его и повторить испытание вновь в другой точке образца. На каждом образце должно быть произведено не менее трех испытаний. Расстояние центра отпечатка от края образца или от другого отпечатка при испытании по шкалам С и А должно быть не менее 2,5 мм, по шкале В — не менее 4 мм.

12. Результаты последующих испытаний твердости записать в графы 4-7 протокола испытания, а среднее – в графу 8. Числа твердости по Роквеллу перевести на числа твердости по Бринелю с помощью диаграмм (рис. 17) или таблицы и записать в графу 9 протокола.

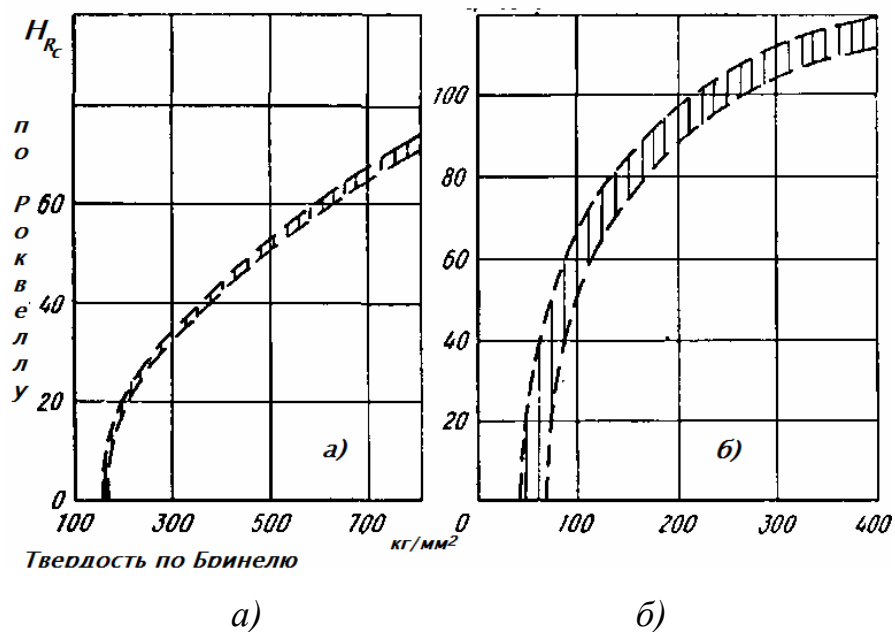


Рис. 17. Соотношение твердости по Бринелю и по Роквеллу при вдавливании алмазного конуса (а) и стального шарика (б).

Протокол испытания на твердость по Роквеллу

Студент _____ Группа _____ Дата _____

Форма и материал образцов _____

№ п/п	Шкала	Твердость H_R						Твердость по Бринеллю (перевод)
		1	2	3	4	5	Среднее	
1	2	3	4	5	6	7	8	9

РАБОТА 9

ИСПЫТАНИЕ НА МИКРОТВЕРДОСТЬ

Задание

1. Произвести испытание на микротвердость тонких полуфабрикатов (лента, фольга), азотированных и планированных слоев, структурных составляющих сплавов.
2. Определить твердость.
3. Составить отчет о работе.

Цель работы

Цель работы — научить учащихся самостоятельно производить испытание на микротвердость.

В процессе выполнения работы учащиеся должны изучить: устройство прибора ПМТ-3; порядок подготовки образца; порядок проведения испытания на приборе; определение твердости; устройство для фотографирования; центрирование прибора.

Приборы, материалы и инструменты

Для проведения работы необходимо иметь: прибор ПМТ-3; образцы ленты, фольги, азотированной, цианированной и закаленной стали и сплавов цветных металлов; наждачное точило; напильник; шлифовальную бумагу №.60-240; толстые стекла; полировальный станок; полировальную жидкость; травители для выявления структуры стали и сплавов цветных металлов; спирт; фильтровальную бумагу; вату.

Испытание на микротвердость

Испытание на микротвердость применяется при определении твердости таких объектов, которые не могут быть испытаны обычно применяемыми методами (по Бринелю, Роквеллу, Виккерсу), а именно мелких деталей приборов, тонких полуфабрикатов (лент, фольги, проволоки), тонких слоев, получающихся в результате химико-термической обработки (азотирования, цианирования и др.) и гальванических покрытий, поверхностных слоев металла изменивших свои свойства в результате снятия стружки, давления, трения и отдельных структурных составляющих сплавов.

Для испытания на микротвердость применяется прибор ПМТ-3.

Основание 1 (рис. 18) прибора имеет стойку 2, по которой гайкой 3 при ослабленном винте 4 можно перемещать кронштейн 5 с тубусом 6 микроскопа. Кронштейн 5 имеет направляющие, по которым можно перемещать тубус 6. Грубое перемещение тубуса 6 осуществляется вращением винта 7 (макроподача), а малое перемещение — вращением винта 8 (микроподача). Тубус имеет наклонную трубку с окуляром 9 и объектив 10. К тубусу прикреплен механизм нагружения 11 с алмазной пирамидой 12. На основании 1 расположен предметный столик 13, верхнюю часть которого при помощи винтов 14 и 15 можно перемещать в двух взаимно-перпендикулярных направлениях (координатное перемещение) и рукояткой 16 поворачивать вокруг оси приблизительно на 180° от одного упора до другого (полукруговое перемещение). На столик 13 устанавливается образец 17.

Для нагружения применяются специальные грузы в форме шайб с вырезом весом 2, 5, 10, 20, 50, 100 и 200 г. При испытании один из грузов (шайба 18) устанавливается вырезом на шток нагружающего механизма. Вдавливание алмазной пирамиды 12 в образец 17 под действием груза, находящегося на штоке, осуществляется поворотом рукоятки 19 приблизительно на пол-оборота. Измерение диагонали полученного отпечатка производится окулярным микрометром 20.

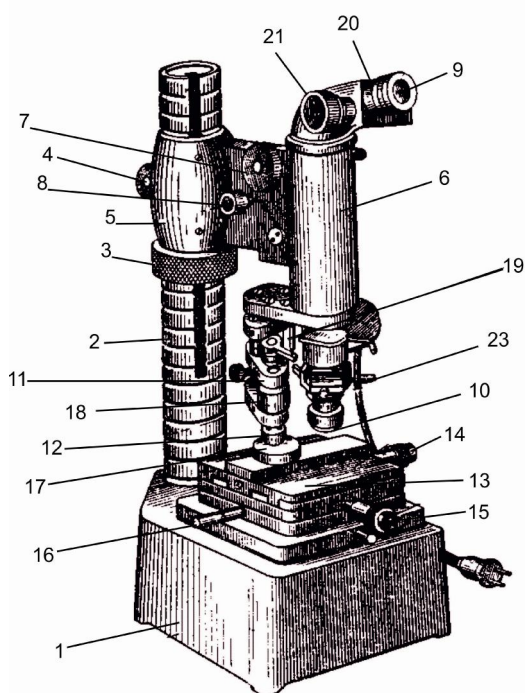


Рис. 18. Прибор ПМТ-3

Подготовка образцов для испытания

Образцы ленты и фольги испытывают без подготовки. Азотированные и цианированные образцы шлифуют и полируют. При определении твердости отдельных структурных составляющих поверхность образца должна быть подготовлена так же, как для металлографического исследования, т. Е. должен быть приготовлен микрошлиф.

Подготовка прибора и проведение испытания

1. Установить и закрепить (прижимными лапками или пластилином) образец или шлиф 1 (рис. 19, а) на предметном столике 2 под объективом 3. Столик должен быть повернут в крайнее правое положение до упора.

2. Навести на фокус поверхность образца (шлифа) 1 вращением винтов 7 и 8 (рис. 18) макроподдачи и микроподдачи.

3. Установить на резкость нити окулярного микрометра вращением глазной линзы окуляра 9.

4. Вращением барабана 21 установить двойной штрих (перекрестие нитей) окулярного микрометра в центре поля зрения на делении 4 шкалы (рис. 21,

а). Полный оборот барабана (100 малых делений на барабане) соответствует перемещению двойного штриха (перекрестия нитей) на одно деление шкалы.

5. Выбрать на образце 1 (рис. 20, а) место для нанесения отпечатка и подвести его, перемещением столика винтами 14 и 15 (рис. 19), под перекрестие нитей (рис. 21, б).

6. Окончательно навести на фокус поверхность образца 1 (рис. 20, а) вращением винта 8 микроподачи (рис. 19).

7. Выбрать груз 4 (рис. 19, а) и поместить его на шток нагружающего механизма.

8. Повернуть рукояткой 5 предметный столик вокруг оси 00 в крайнее левое положение до упора (рис. 19, б). Поворачивать нужно осторожно без удара об упор, чтобы не сместить образец.

9. Произвести вдавливание алмазной пирамиды 6, для чего медленно и равномерно, одним пальцем, повернуть на себя рукоятку 7 арретира (рис. 19, б).

10. Дать выдержку 5- 7 с.

11. Снять нагрузку, для чего равномерно, одним пальцем, повернуть от себя рукоятку 7 арретира (рис. 19, б).

12. Повернуть рукояткой 5 предметный столик вокруг оси 00 в крайнее правое положение до упора (рис. 19, а). Поворачивать нужно осторожно, без удара об упор, чтобы не сместить образец.

13. Измерить окулярным микрометром диагональ полученного отпечатка.

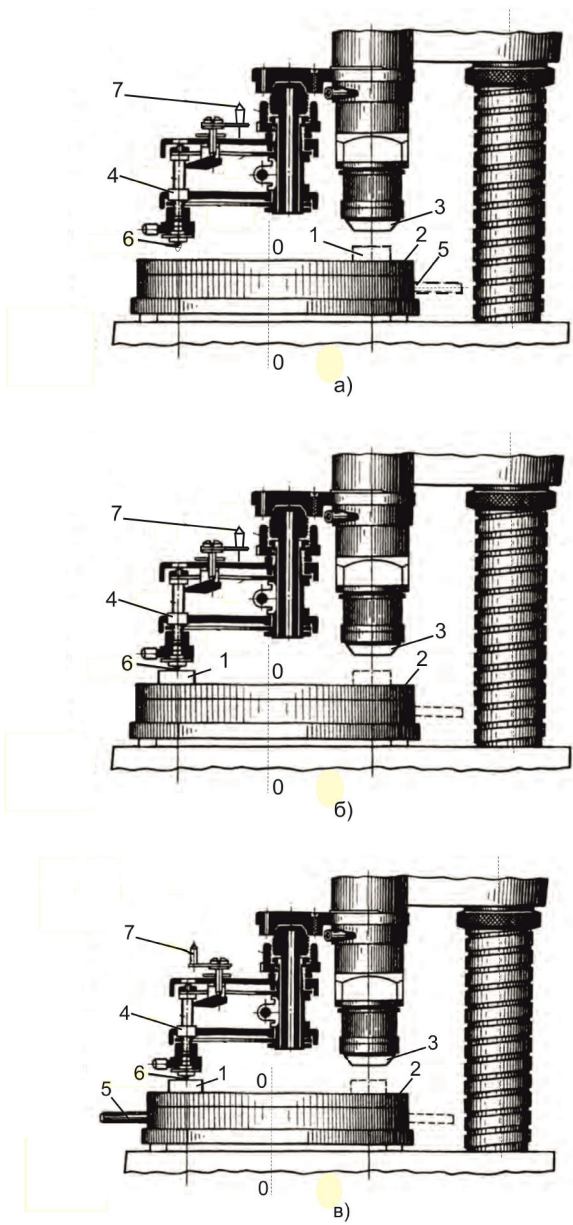


Рис. 19. Схема испытания на микротвердость на приборе ПМТ-3:

а — испытываемый образец (шлиф) под объективом; выбор места для испытания; после получения отпечатка — измерение его диагонали; б — испытываемый образец (шлиф) под алмазной пирамидой; установка под острие алмаза; то же положение после получения отпечатка и подъема пирамиды; в — испытываемый образец (шлиф) под алмазной пирамидой; получение отпечатка

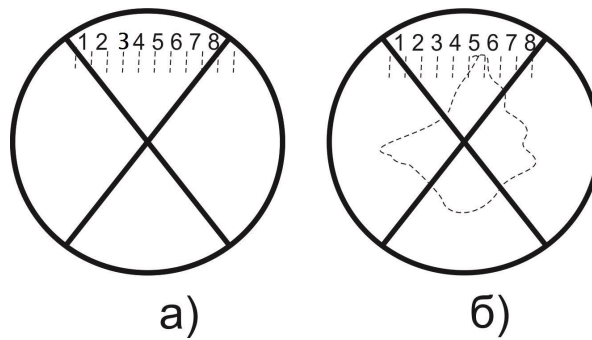


Рис. 20. Схема измерения диагонали отпечатка:

а – расположение двойного штриха окулярного микрометра в центре поля зрения на делении 4 шкалы; б – расположение выбранного для нанесения отпечатка места на образце под перекрестием нитей

Измерение диагонали отпечатка

1. Нити прибора расположить справа от отпечатка (рис. 21, а).
2. Вращением барабана 21 окулярного микрометра 20 (рис. 18) левый угол нитей подвести (справа налево) к правому углу отпечатка (рис. 21, б) так, чтобы толщина нитей оставалась вправо от контура отпечатка.

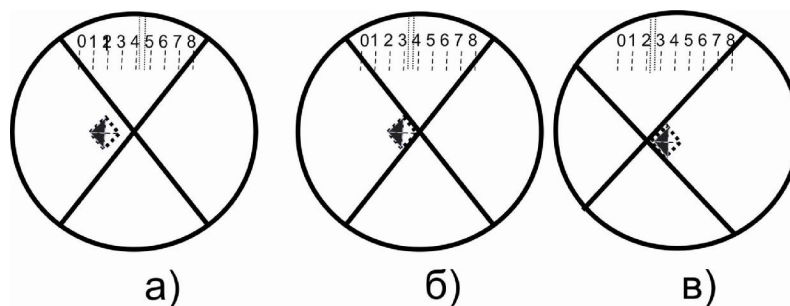


Рис.21. Пример измерений диагонали отпечатка окулярным микрометром АМ9-2 (АМ9-1):

а — подведение нитей (справа налево) к правому углу отпечатка; б — положение нитей у верхнего правого угла отпечатка для первого отсчета (нити подведены справа); в — положение нитей у вершины левого угла отпечатка для второго отсчета (нити подведены также справа)

3. Произвести отсчет показаний шкалы и лимба барабана окулярного микрометра: наблюдая в окуляр, определить, между какими цифрами шкалы расположился двойной штрих (перекрестие нитей) (цифра, расположенная слева от двойного штриха, показывает сотни); к этому числу прибавить показания лимба барабана. Полученный результат записать в графу 2 протокола испытания. Например, двойной штрих находится между цифрами 3 и 4 (рис. 21, б), что соответствует числу 300, а на лимбе барабана число 56; тогда сумма будет: $300 + 56 = 356$.

4. Вращением барабана окулярного микрометра правый угол нитей подвести к левому углу отпечатка (рис. 21, в).

5. Произвести отсчет показаний шкалы и лимба барабана окулярного микрометра; наблюдая в окуляр, определить, между какими цифрами расположился двойной штрих (перекрестие нитей); (цифра, расположенная слева от двойного штриха, показывает сотни); к этому числу прибавить показания лимба барабана. Полученный результат записать в графу 3 протокола испытания.

Например, двойной штрих находится между цифрами 2 и 3 (рис. 22, в), что соответствует числу 200, а на лимбе барабана число 26; тогда сумма будет $200 + 26 = 226$.

6. Из первого числа (356) вычесть второе число (226); полученная разность ($356 - 226 = 130$) указывает длину диагонали отпечатка; в данном случае длина диагонали отпечатка равна 130 делениям лимба барабана окулярного микрометра. Полученный результат записать в графу 4 протокола испытания.

7. Определить длину диагонали отпечатка в микронах; для этого полученную длину диагонали отпечатка в делениях (в данном случае 130 делений) умножить на цену одного деления в микронах. Так как цена одного деления лимба барабана окулярного микрометра равна 0,3 мкм, то полученную длину диагонали отпечатка в делениях (в данном случае 130 делений) надо умножить на 0,3 ($130 \cdot 0,3 = 39$ мкм). Полученный результат в микронах записать в графу 5 протокола испытания.

Определение твердости

Число твердости H определяется по формуле, кг/мм²:

$$H = 1854 \frac{P}{d^2},$$

где P — нагрузка на пирамиду, г; d — диагональ отпечатка, мкм.

Чтобы не прибегать к длительным вычислениям твердости по приведенной выше формуле, практически пользуются специальными таблицами (приложения 4, 5 и 6), рассчитанными на нагрузки 20, 50 и 100 г.

Например, если указанная выше длина диагонали отпечатка 39 мкм была получена при нагрузке 100 г, то по таблице (приложение 6) для данной диагонали отпечатка получаем число твердости 122 кг/мм². Полученный результат записать в графу 6 протокола испытания.

Для определения твердости при испытании другими нагрузками (2, 5, 10 и 200 г) пользуются теми же таблицами, только результат или уменьшают, или увеличивают в 10 раз. Например, если при нагрузке 20 г длина диагонали равна 12 мкм, то твердость по таблице (приложение 4) равна 258 кг/мм²; если такая же длина диагонали, равная 12 мкм, получается при нагрузке 200 г, то получаемый по приложению 4 результат уменьшают в 10 раз, т. е. $H = 25,8$ кг/мм². Приложение 4 пригодно для определения твердости, полученной при нагрузке 2 г, только результат необходимо увеличивать в 10 раз.

Приложением 5 можно пользоваться при испытании нагрузкой 5 г, а приложением 6 — при испытании нагрузкой 10 г.

Для быстрого приближенного (с точностью $\pm 1-2\%$) определения твердости можно пользоваться номограммой, приведенной на рис. 22. Для определения твердости соединяют прямой точку на шкале нагрузки (левая шкала),

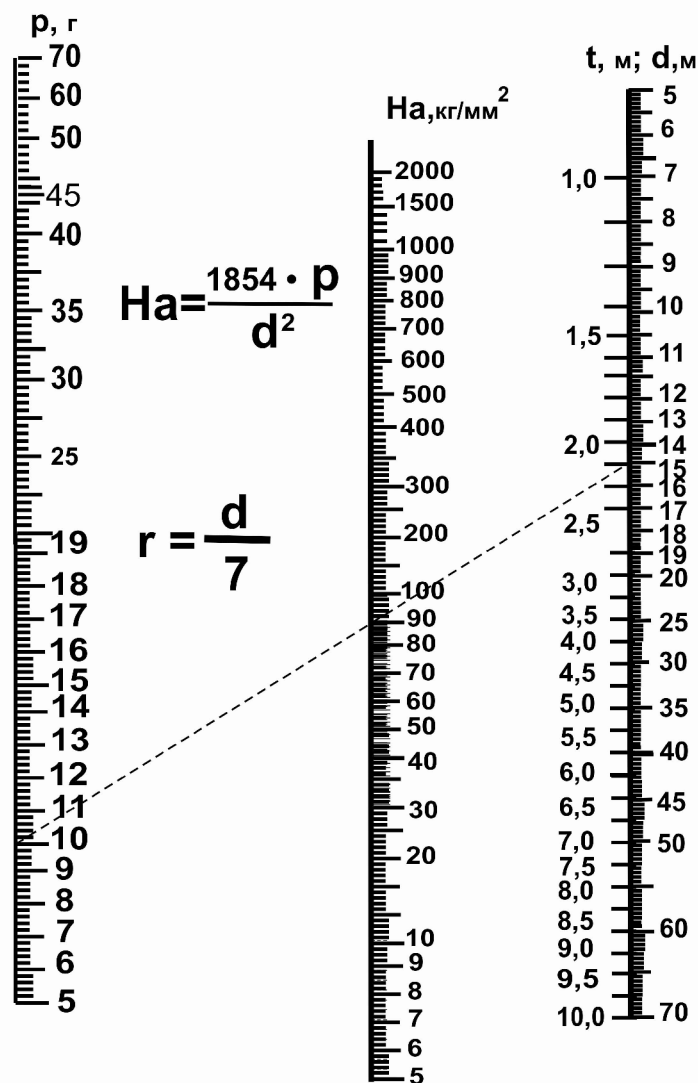


Рис. 22. Номограмма для определения чисел твердости : нагрузки P , величины диагонали d и глубины погружения алмаза t при испытании алмазной квадратной пирамидой с двухгранным углом при вершине 136° соответствующей нагрузке при испытании (например, $P = 10$ г), с точкой на шкале диагонали отпечатка (правая шкала), соответствующей полученной длине диагонали отпечатка (например, $d = 15$ мкм). Проведенная прямая пересекает шкалу твердости (средняя шкала). Точка пересечения указывает число твердости, в данном случае 82 кг/мм^2 .

Результат по таблице для $P = 10$ г и $d = 15$ мкм равен $H = 82,4 \text{ кг/мм}^2$.

По номограмме, кроме определения H , по данным P и d можно определить P , если известны H и d , и можно определить d , если известны H и P .

Центрирование прибора

Центрировать прибор необходимо для того, чтобы отпечаток алмазной пирамиды получался при испытании точно в том месте образца, которое выбрано для его нанесения.

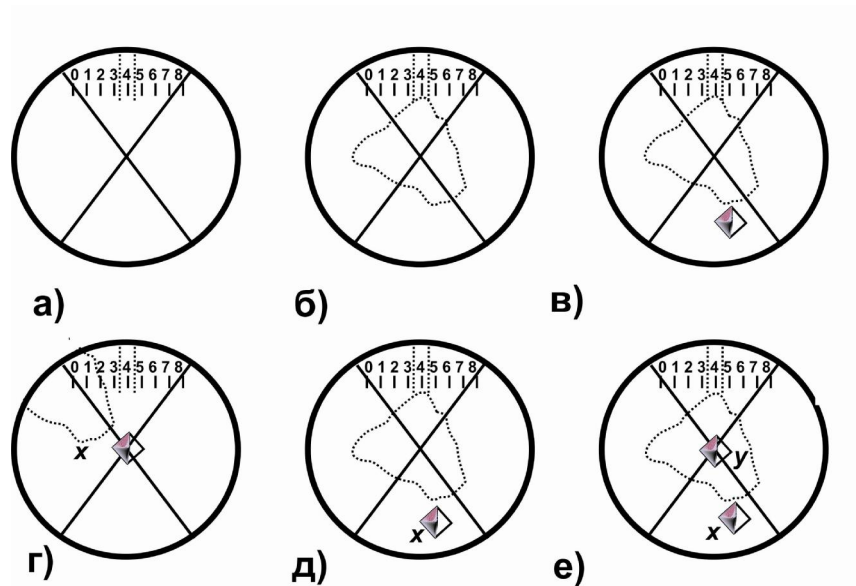


Рис.23. Центрирование прибора ПМТ-3:

a — перекрестие нитей окулярного микрометра АМ9-2 (АМ9-1) установлено в центре поля зрения микроскопа на делении 4; *б* — место желательного нанесения отпечатка на предмете подведено путем перемещения столика двумя винтами под перекрестие нитей; *в* — нанесенный отпечаток *x* расположился в стороне от перекрестия; *г* — отпечаток *x* подведен к перекрестию центрировочными винтами; *д* — установлено прежнее место для испытания на предмете; *е* — вновь сделанный отпечаток *y* расположился в перекрестии нитей и на выбранном месте предмета

Для центрирования прибора необходимо:

1. Двойной штрих (перекрестие нитей) окулярного микрометра установить в центре поля зрения на делении 4 шкалы (рис. 23, а).
2. Выбрать на образце место для нанесения отпечатка и подвести его перемещением столика двумя винтами 14 и 15 (см. рис. 19) под перекрестие нитей (рис. 23, б).

3. Произвести отпечаток (рис. 6, в). Полученный отпечаток x вследствие того, что прибор не центрирован, допустим, расположился не на выбранном месте, а в стороне от перекрестия нитей.

4. Вращением центрировочных винтов 22 и 23 (см. рис. 19) совместить центр отпечатка x с перекрестием нитей (рис. 23, г).

5. Перемещением столика двумя винтами вновь установить под перекрестие нитей то место образца, на котором желательно сделать отпечаток (рис. 23, д).

Протокол испытания на микротвердость

Учащийся _____ Группа _____ Дата _____

Форма и материал образцов _____

№ п/п	Первый отсчет	Второй отсчет	Разность первого и второго отсчетов (длина диагонали отпечатка)	Длина диагонали отпечатка, умноженная на 0,3 мкм	Число твердости Н
1	2	3	4	5	6

Составление отчета

Отчет о проведенной работе должен содержать:

- цель работы;
- формулировку задания;
- краткое описание теоретических положений работы;
- порядок выполнения работы;
- опытные и расчетные данные;
- выводы.

П Р И Л О Ж Е Н И Я

Приложение 1

Реактивы и режимы травления макрошлифов

Состав	Концентрация	Режим
Для глубокого травления стали		
HCl	100 мл	t=20°C, τ=5-10 мин. Травление рекомендуется проводить, протирая ватой, смоченной в реактиве. Шлиф промывают водой и 5-10% раствором K ₂ Cr ₂ O ₇
HNO ₃	100 мл	
H ₂ O	100 мл	
HCl	100 г	t=20°C, τ=15-20 мин. Травление рекомендуется проводить, протирая ватой, смоченной в реактиве. Шлиф промывают водой и 5-10% раствором K ₂ Cr ₂ O ₇
H ₂ SO ₄	7 мл	
CuSO ₄	20 г	
Для поверхностного травления		
Стали всех составов, Реактивы Гейна		t=20°C, τ=0,5-1 мин. Осевший при травлении вследствие обменной реакции слой меди, пористый на участках с дефектами, удаляют ватой под струей воды. Более сильно растравлены дефектные участки
NH ₄ Cl	53 г	
CuCl ₂	85 г	
H ₂ O	1000 мл	
Сплавы меди		
FeCl ₃	9 г	t=20°C, τ=2-5 мин. После травления проводится промывка в воде, погружение в 50% раствор HNO ₃ , промывка в горячей воде и в 10-15% водном растворе NaOH
HCl	30 мл	
H ₂ O	120 мл	
Сплавы алюминия		
HNO ₃	40 мл	t= 20°C, τ= 2 – 5 мин. После травления проводится промывка в воде, погружение в 50% раствор HNO ₃ , промывка в горячей воде и в 10-15% водном растворе NaOH. Для сплавов типа дуралюмина после травления необходимы промывка и сушка
HCl	40 мл	

Реактивы для микроисследования структуры сплавов

Состав	Концентрация	Режим
HNO ₃ C ₂ H ₅ OH (CH ₃ COH)	1-5 мл 100 мл	Окрашивает перлит в темный цвет, выявляет границы зерен феррита, структуру мартенсита. При больших увеличениях (более 400-500) отчетливо видно, что перлит состоит из двух фаз феррита и цементита
HNO ₃ HCl K ₂ Cr ₂ O ₇ H ₂ O	25 мл 50 мл 12 г 25мл	t=20°C, τ=1-2с. Реактив выдерживается 24-48 ч. Для выявления величины зерен в закаленной стали
K ₃ Fe(CN) ₆ KOH H ₂ O	10. г 11. г 100 мл	Применяется в горячем состоянии для выявления хромистых карбидов, вольфрамовидов в легированных сталях; фосфидов, окрашиваемых в темный цвет
Для травления меди и медных сплавов		
FeCl ₃ HCl H ₂ O	12. г 30 мл 120 мл	Для выявления структуры меди, латуни, бронзы. В латунях β-фаза окрашивается в темный цвет
Для травления алюминиевых сплавов		
NaOH H ₂ O	1-10 г 90-99 мл	Для выявления микроструктуры

Соотношение чисел твердости,
определенных различными методами при испытании вдавливанием
(по ГОСТ 10242-40)

d, мм	H_B	HR_C	HR_A	HR_B	H_D
1	2	3	4	5	6
2,20	780	72	84	–	1124
2,25	745	70	83	–	1116
2,30	712	68	82	–	1022
2,35	682	66	81	–	941
2,40	653	64	80	–	868
2,45	627	62	79	–	804
2,50	601	60	78	–	746
2,55	578	58	78	–	694
2,60	555	56	77	–	650
2,65	534	54	76	–	606
2,70	514	52	75	–	587
2,75	495	50	74	–	551
2,80	477	49	74	–	534
2,85	461	48	73	–	502
2,90	444	46	73	–	474
2,95	429	45	72	–	460
3,00	415	43	72	–	435
3,05	401	42	71	–	423
3,10	388	41	71	–	401
3,15	375	40	70	–	390
3,20	363	39	70	–	380
3,25	352	38	69	–	361
3,30	341	36	68	–	344
3,35	331	35	67	–	334
3,40	321	33	67	–	320
3,45	311	32	66	–	311
3,50'	302	31	66	–	303
3,55	293	30	65	–	292
3,65	277	28	64	–	278
3,70	269	27	64	–	270
3,75	262	26	63	–	261
3,80	255	25	63	–	255
3,85	248	24	62	–	249
3,90	241	23	62	102	240

Окончание приложения 3

1	2	3	4	5	6
3,95	235	21	61	101	235
4,00	229	20	61	100	228
4,05	223	19	60	99	222
4,10	217	17	60	98	217
4,15	212	15	59	97	213
4,20	207	14	59	95	208
4,25	201	13	58	94	201
4,30	197	12	58	93	197
4,35	192	11	57	92	192
4,40	187	9	57	91	186
4,45	183	8	56	90	183
4,50	179	7	56	90	178
4,55	174	6	55	89	174
4,60	170	4	55	88	171
4,65	167	3	54	87	166
4,70	163	2	53	86	162
4,75	159	1	53	85	159
4,80	156	0	52	84	155
4,85	152	–	–	83	152
4,90	149	–	–	82	149
4,95	146	–	–	81	148
5,00	143	–	–	80	143
5,05	140	–	–	79	140
5,10	137	–	–	78	138
5,15	134	–	–	77	134
5,20	131	–	–	76	131
5,25	128	–	–	75	129
5,30	126	–	–	74	127
5,35	123	–	–	73	123
5,40	121	–	–	72	121
5,45	118	–	–	71	118
5,50	116	–	–	70	116
5,55	114	–	–	68	115
5,60	11	–	–	67	113
5,65	109	–	–	66	110
5,70	107	–	–	65	109
5,75	105	–	–	64	108

Приложение 4

Числа твердости (кг/мм²) при испытании алмазной квадратной пирамидой с двухгранным углом при вершине 136° при нагрузке Р, равной 20 г

Диагональ отпечатка d, мкм	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	-	-	-	-	148,4	103	756	580	456
10	370	306	258	220	189,2	164,8	144,8	128,4	114,4	102,8
20	92,8	84,1	76,6	70,1	64,4	59,4	54,8	50,8	47,3	44,2
30	41,2	38,6	36,2	34	32	30,2	28,6	27	25,6	14,2
40	23,2	22	21	20	19,16	18,32	17,52	16,8	16,1	15,44
50	14,84	14,26	13,72	13,2	12,72	12,26	11,82	11,42	11,02	10,66
60	10,3	9,96	9,56	9,34	9,06	8,78	8,52	8,26	8,02	7,8
70	7,56	7,36	7,16	6,96	6,78	6,6	6,42	6,26	6,1	5,94
80	5,8	5,66	5,52	5,38	5,26	5,14	5,02	4,9	4,8	4,68
90	4,58	4,48	4,38	4,28	4,2	4,1	4,02	3,94	3,86	3,78
100	3,7	3,64	3,56	3,5	3,42	3,36	3,3	3,24	3,18	3,12
110	3,06	3,02	2,96	2,9	2,86	2,8	2,76	2,7	2,66	2,62
120	2,58	2,54	2,5	2,46	2,42	2,36	2,34	2,3	2,26	2,22
130	2,2	2,16	2,12	2,1	2,06	2,04	2	1,976	1,948	1,92
140	1,892	1,866	1,84	1,814	1,788	1,764	1,74	1,716	1,694	1,67
150	1,648	1,626	1,606	1,584	1,564	1,544	1,524	1,504	1,486	1,468
160	1,448	1,43	1,414	1,396	1,38	1,362	1,346	1,33	1,314	1,298
170	1,284	1,268	1,254	1,24	1,226	1,212	1,198	1,184	1,17	1,158
180	1,144	1,132	1,12	1,108	1,096	1,084	1,072	1,06	1,05	1,038
190	1,028	1,016	1,006	0,996	0,986	0,976	0,966	0,956	0,946	0,938
200	0,928	0,916	0,908	0,9	0,892	0,884	0,876	0,864	0,856	0,848
210	0,841	0,832	0,824	0,816	0,812	0,804	0,796	0,788	0,78	0,772
220	0,766	0,76	0,752	0,748	0,74	0,732	0,728	0,72	0,712	0,708
230	0,701	0,696	0,688	0,684	0,676	0,672	0,668	0,66	0,656	0,648
240	0,644	0,638	0,634	0,628	0,622	0,618	0,612	0,608	0,604	0,598
250	0,594	0,588	0,584	0,58	0,574	0,57	0,566	0,562	0,558	0,552
260	0,548	0,544	0,54	0,536	0,532	0,528	0,524	0,52	0,516	0,512
270	0,508	0,506	0,502	0,498	0,494	0,49	0,486	0,484	0,48	0,476
280	0,473	0,47	0,466	0,464	0,46	0,456	0,454	0,45	0,448	0,444
290	0,442	0,438	0,436	0,432	0,43	0,426	0,424	0,42	0,418	0,414
300	0,412	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Числа твердости (кг/мм²) при испытании алмазной квадратной пирамидой с двухгранным углом при вершине 136° при нагрузке Р, равной 50 г

Диагональ отпечатка d, мкм	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	-	-	-	-	3710	2575	1890	1450	1145
10	925	765	645	550	473	412	362	321	286	257
20	232	210	192	175	161	148	137	127	118	110,5
30	103	96,5	90,5	85	80	75,5	71,5	67,5	64	61
40	58	55	52,5	50	47,9	45,8	43,8	42	40,25	38,6
50	37,1	35,65	34,3	33	31,8	30,7	29,55	28,55	27,55	26,65
60	25,75	24,9	23,9	23,36	22,65	22	21,3	20,65	20,05	19,5
70	18,9	18,4	17,9	17,4	16,95	16,5	16,05	15,65	15,25	14,85
80	14,5	14,15	13,8	13,45	13,15	12,9	12,55	12,25	12	11,7
90	11,45	11,2	10,95	10,7	10,5	10,3	10,05	9,85	9,65	9,45
100	9,25	9,1	8,9	8,75	8,55	8,4	8,25	8,1	7,95	7,8
110	7,65	7,55	7,4	7,25	7,15	7	6,9	6,75	6,65	6,55
120	6,45	6,35	6,25	6,15	6,05	5,95	5,85	5,75	5,65	5,55
130	5,5	5,4	5,3	5,25	5,15	5,1	5	4,94	4,87	4,8
140	4,73	4,66	4,6	4,53	4,47	4,41	4,35	4,29	4,24	4,18
150	4,12	4,07	4,02	3,95	3,91	3,86	3,81	3,76	3,72	3,67
160	3,62	3,58	3,54	3,49	3,45	3,41	3,37	3,32	3,28	3,25
170	3,21	3,17	3,14	3,1	3,07	3,03	3	2,96	2,93	2,9
180	2,86	2,83	2,8	2,77	2,74	2,71	2,69	2,65	2,63	2,6
190	2,57	2,54	2,52	2,49	2,47	2,44	2,41	2,39	2,36	2,34
200	2,32	2,29	2,27	2,25	2,23	2,21	2,19	2,16	2,14	2,12
210	2,1	2,08	2,06	2,04	2,03	2,01	1,99	1,97	1,95	1,93
220	1,92	1,9	1,88	1,87	1,85	1,83	1,82	1,8	1,78	1,77
230	1,75	1,74	1,72	1,71	1,69	1,68	1,67	1,65	1,64	1,62
240	1,61	1,6	1,59	1,57	1,55	1,54	1,53	1,52	1,51	1,5
250	1,48	1,47	1,46	1,45	1,44	1,43	1,42	1,41	1,4	1,38
260	1,37	1,36	1,35	1,34	1,33	1,32	1,31	1,3	1,29	1,28
270	1,27	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22	1,215	1,21	1,2	1,19
280	1,18	1,174	1,166	1,16	1,15	1,14	1,13	1,125	1,12	1,11
290	1,105	1,1	1,09	1,08	1,07	1,07	1,06	1,05	1,04	1,035
300	1,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Числа твердости (кг/мм²) при испытании алмазной квадратной пирамидой с двухгранным углом при вершине 136° при нагрузке Р, равной 100 г

Диагональ отпечатка d, мкм	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	-	-	-	-	7420	5150	3780	2900	2290
10	1850	1530	1290	1100	946	824	724	642	572	514
20	464	420	383	350	322	297	274	254	236	221
30	206	193	181	170	160	151	143	135	128	122
40	116	110	105	100	95,8	91,6	87,6	84,0	80,5	77,2
50	74,2	71,3	68,6	66,0	63,6	61,3	59,1	57,1	55,1	53,3
60	51,5	49,8	47,8	46,7	45,3	43,9	42,6	41,3	40,1	39,0
70	37,8	36,8	35,8	34,8	33,9	33,0	32,1	31,3	30,5	29,7
80	29,0	28,3	27,6	26,9	26,3	25,7	25,1	24,5	24,0	23,4
90	22,9	22,4	21,9	21,4	21,0	20,5	20,1	19,7	19,3	18,9
100	18,5	18,2	17,8	17,5	17,1	16,8	16,5	16,2	15,9	15,6
110	15,3	15,1	14,7	14,5	14,3	14,0	13,8	13,5	13,3	13,1
120	12,9	12,7	12,5	12,3	12,1	11,9	11,7	11,5	11,3	11,1
130	11,0	10,8	10,6	10,5	10,3	10,2	10,0	9,88	9,74	9,60
140	9,46	9,33	9,20	9,07	8,94	8,82	8,70	8,58	8,47	8,35
150	8,24	8,13	8,03	7,92	7,82	7,72	7,62	7,52	7,43	7,34
160	7,24	7,15	7,07	6,98	6,90	6,81	6,73	6,65	6,57	6,49
170	6,42	6,34	6,27	6,20	6,13	6,06	5,99	5,92	5,85	5,79
180	5,72	5,66	5,60	5,54	5,48	5,42	5,36	5,30	5,25	5,19
190	5,14	5,08	5,03	4,98	4,93	4,88	4,83	4,78	4,73	4,68
200	464	0,916	0,908	0,9	0,892	0,884	0,876	0,864	0,856	0,848
210	0,841	0,832	0,824	0,816	0,812	0,804	0,796	0,788	0,78	0,772
220	0,766	0,76	0,752	0,748	0,74	0,732	0,728	0,72	0,712	0,708
230	0,701	0,696	0,688	0,684	0,676	0,672	0,668	0,66	0,656	0,648
240	0,644	0,638	0,634	0,628	0,622	0,618	0,612	0,608	0,604	0,598
250	0,594	0,588	0,584	0,58	0,574	0,57	0,566	0,562	0,558	0,552
260	0,548	0,544	0,54	0,536	0,532	0,528	0,524	0,52	0,516	0,512
270	0,508	0,506	0,502	0,498	0,494	0,49	0,486	0,484	0,48	0,476
280	0,473	0,47	0,466	0,464	0,46	0,456	0,454	0,45	0,448	0,444
290	0,442	0,438	0,436	0,432	0,43	0,426	0,424	0,42	0,418	0,414
300	0,412	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Приложение 7

Плотность (ρ , г/см³) некоторых элементов и их окислов

Формула	ρ	Формула	ρ	Формула	ρ
Al	2,70	SiO ₂	2,3	Mg	1,74
Al ₂ O ₃	4,0	Cu	8,93	MgO	3,58
Cd	8,64	Cu ₂ O	6,0	Ni	8,90
CdO	8,15	CuO	6,4	NiO	7,45
Co	8,8	Fe	7,86	Pb	11,34
CoO	6,2	FeO	5,7	PbO	9,53
Co ₃ O ₄	6,1	Fe ₃ O ₄	5,1	Ti	4,54
Cr	7,16	Fe ₂ O ₃	5,24	TiO ₂	4,25
Cr ₂ O ₃	5,21	Sn	7,3	Zn	7,14
Si	2,0	SnO	6,45	ZnO	5,6

Приложение 8

Значения потенциала хлорсеребряного электрода

в интервале температур 15 – 25°C

T, °C	E _{хсэ} , В	T, °C	E _{хсэ} , В	T, °C	E _{хсэ} , В
15	0,209	19	0,205	23	0,201
16	0,208	20	0,204	24	0,200
17	0,207	21	0,203	25	0,199
18	0,206	22	0,202		

Стандартные электродные потенциалы некоторых металлов (E)

в водных растворах при 25°C

Электродный процесс	E, В	Электродный процесс	E, В
$\text{Li} \Leftrightarrow \text{Li}^+ + e^-$	- 3,05	$\text{In} \Leftrightarrow \text{In}^{3+} + 3e^-$	- 0,342
$\text{K} \Leftrightarrow \text{K}^+ + e^-$	- 2,93	$\text{Tl} \Leftrightarrow \text{Tl}^+ + e^-$	- 0,336
$\text{Ca} \Leftrightarrow \text{Ca}^{2+} + 2e^-$	- 2,87	$\text{Co} \Leftrightarrow \text{Co}^{2+} + 2e^-$	- 0,277
$\text{Na} \Leftrightarrow \text{Na}^+ + e^-$	- 2,71	$\text{Ni} \Leftrightarrow \text{Ni}^{2+} + 2e^-$	- 0,250
$\text{Mg} \Leftrightarrow \text{Mg}^{2+} + 2e^-$	- 2,37	$\text{Mo} \Leftrightarrow \text{Mo}^{3+} + 3e^-$	- 0,200
$\text{Be} \Leftrightarrow \text{Be}^{2+} + 2e^-$	- 1,85	$\text{Sn} \Leftrightarrow \text{Sn}^{2+} + 2e^-$	- 0,136
$\text{U} \Leftrightarrow \text{U}^{3+} + 3e^-$	- 1,80	$\text{Pb} \Leftrightarrow \text{Pb}^{2+} + 2e^-$	- 0,126
$\text{Hf} \Leftrightarrow \text{Hf}^{4+} + 4e^-$	- 1,70	$\text{Fe} \Leftrightarrow \text{Fe}^{3+} + 3e^-$	- 0,036
$\text{Al} \Leftrightarrow \text{Al}^{3+} + 3e^-$	- 1,66	$\text{H} \Leftrightarrow 2\text{H}^+ + 2e^-$	0,000
$\text{Ti} \Leftrightarrow \text{Ti}^{2+} + 2e^-$	- 1,63	$\text{Cu} \Leftrightarrow \text{Cu}^{2+} + 2e^-$	+0,337
$\text{Li} \Leftrightarrow \text{Li}^+ + e^-$	- 1,53	$\text{Cu} \Leftrightarrow \text{Cu}^+ + e^-$	+0,521
$\text{Zr} \Leftrightarrow \text{Zr}^{4+} + 4e^-$	- 1,18	$2\text{Hg} \Leftrightarrow \text{Hg}_2^{2+} + 2e^-$	+0,789
$\text{Mn} \Leftrightarrow \text{Mn}^{2+} + 2e^-$	- 1,10	$\text{Hg} \Leftrightarrow \text{Hg}^{2+} + 2e^-$	+0,854
$\text{Nb} \Leftrightarrow \text{Nb}^{3+} + 3e^-$	- 0,763	$\text{Ag} \Leftrightarrow \text{Ag}^+ + e^-$	+0,899
$\text{Zn} \Leftrightarrow \text{Zn}^{2+} + 2e^-$	- 0,74	$\text{Pd} \Leftrightarrow \text{Pd}^{2+} + 2e^-$	+0,987
$\text{Cr} \Leftrightarrow \text{Cr}^{3+} + 3e^-$	- 0,53	$\text{Pt} \Leftrightarrow \text{Pt}^{2+} + 2e^-$	+1,200
$\text{Fe} \Leftrightarrow \text{Fe}^{2+} + 2e^-$	- 0,440	$\text{Au} \Leftrightarrow \text{Au}^{3+} + 3e^-$	+1,50
$\text{Cd} \Leftrightarrow \text{Cd}^{2+} + 2e^-$	- 0,403	$\text{Au} \Leftrightarrow \text{Au}^+ + e^-$	+1,68

Библиографический список

1. Гуляев, А.П. *Металловедение: учеб. Пособие для вузов / А.П. Гуляев.* – Изд. 6-е; перераб. и доп. – М.: *Металлургия*, 1986. -544 с.
2. *Материаловедение / под ред. Б.Н. Арзамасова: - М.: Машиностроение*, 1986. -428 с.
3. Лахтин, Ю.М. *Материаловедение / Ю.М. Лахтин, В.П.Леонтьева.* – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: *Машиностроение*, 1990. -528 с.
4. Мозберг, Р.К. *Материаловедение / Р.К. Мозберг.* – Изд. 2-е, перераб. – М.: *Высш. шк.*, 1991. -448 с.
5. Дриц, М.Е. *Технология конструкционных материалов и материаловедение / М.Е. Дриц, М.А. Москалева.* – М.: *Высш. шк.*, 1990.-382 с.
6. Травин, О.В. *Материаловедение / О.В. Травин, Н.Т. Травина.* – М.: *Металлургия*, 1989. – 384 с.
7. Самохоцкий, А.И. *Лабораторные работы по материаловедению / А.И. Самохоцкий, А.И. Кунявский.* – Л.: *Машгиз*, 1959. -276 с.
8. *Микротвердость металлов и полупроводников /под ред. В.М. Глазова, В.Н. Вигдорович.* – Л.: *Металлургия*, 1969, -248 с.
9. Пирайнен, В.Ю. *Материаловедение художественной обработки / В.Ю. Пирайнен.* – СПб.: *Химиздат*, 2008. – 480 с.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>ВВЕДЕНИЕ</i>	3
<i>Работа 1</i> <i>Определение строения металлов методом макроскопического анализа</i>	4
<i>Работа 2</i> <i>Определение структуры металлов методом оптической микроскопии</i>	8
<i>Работа 3</i> <i>Термический анализ сплавов системы цинк – олово</i>	14
<i>Работа 4</i> <i>Построение и анализ диаграммы состояния системы олово – цинк</i>	18
<i>Работа 5</i> <i>Термическая обработка углеродистой стали</i>	23
<i>Работа 6</i> <i>Кинетика окисления металлов на воздухе</i>	29
<i>Работа 7</i> <i>Электродные потенциалы металлов</i>	35
<i>Работа 8</i> <i>Испытание на твердость по Роквеллу</i>	39
<i>Работа 9</i> <i>Испытание на микротвердость</i>	48
<i>Приложения</i>	59
<i>Библиографический список</i>	68

Учебное издание

Румянцева Кира Евгеньевна,
Шеханов Руслан Феликсович

ИСПЫТАНИЕ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ

Учебное пособие

Редактор О.А.Соловьева

Подписано в печать 20.02.2014. Формат 60×84 1/16. Бумага писчая.

Усл. печ. л. 4,19. Уч.-изд. л. 4,64. Тираж 50 экз. Заказ

ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный химико-
технологический университет»

Отпечатано на полиграфическом оборудовании кафедры экономики и

финансов ФГБОУ ВПО «ИГХТУ»

153460, г. Иваново, Шереметевский пр.,7

К.Е. Румянцева, Р.Ф. Шеханов

ИСПЫТАНИЕ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ

Учебное пособие

Иваново 2014

a) a) \bar{b} \bar{b})