

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Казанский (Приволжский) федеральный университет»

Набережночелнинский институт (филиал)

Металлографическая микроскопия

Методические указания к лабораторной работе

Набережные Челны
2019

УДК 620.182

Металлографическая микроскопия: методические указания к лабораторной работе / Составители: Акст Е.Р., Мухаметзянова Г.Ф., Панфилов Э.В. – Набережные Челны: НЧИ К(П)ФУ, 2019. - 27 с.

В методических указаниях раскрывается сущность и содержание процедуры проведения микроскопического анализа металлических материалов. Подробно изложена технология приготовления микрошлифа, включающая этапы шлифования, полирования и травления поверхности исследуемых образцов. Рассмотрены устройство, принцип работы и основные характеристики оптических микроскопов. Раскрывается специфика проведения микроскопических исследований металлических материалов и особенности конструкции металлографических микроскопов.

Методические указания предназначены для студентов, изучающих дисциплину «Материаловедение», а также другие дисциплины, в рамках которых рассматривается и используется микроскопический метод исследования материалов.

Рецензент: д.т.н., профессор Асташенко В.И.

Печатается по решению учебно-методической комиссии Автомобильного отделения НЧИ К(П)ФУ.

© НЧИ ФГАОУ ВО К(П)ФУ
2019 г.

Лабораторная работа МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКАЯ МИКРОСКОПИЯ

Цель работы: получить представление о микро и макроанализе металлических материалов; изучить устройство, принцип работы и основные характеристики металлографических микроскопов; освоить технологию приготовления микрошлифов; приобрести навыки использования металлографического микроскопа для исследования микроструктуры металлов и сплавов.

Общие сведения

Свойства материалов зависят не только от свойств атомов и других, более крупных структурных элементов, образующих данную систему, но и от того, как эти элементы располагаются в пространстве. Другими словами, в формировании свойств материалов существенную роль играет не только их химический (элементный) состав, но и структура (строение). По этой причине, структурным исследованиям, проводимым на различных масштабных уровнях, в материаловедении придают особое значение.

Микроскопический метод исследования металлов и сплавов – *микроанализ* – это наблюдение и изучение структуры металлических материалов под микроскопом при увеличении более чем в 30 раз. В отличие от микроанализа, *макроанализ* предполагает исследование строения материалов невооруженным глазом, либо при незначительном увеличении (до 30 раз).

Макроанализ позволяет по виду поверхности излома образца установить характер разрушения материала, оценить качество сварных соединений, выявить и изучить относительно крупные дефекты строения (поры, раковины,

неметаллические и шлаковые включения, трещины и т.п.), определить химическую и структурную неоднородность объекта исследования.

Макроанализ часто является лишь предварительным видом исследования. Данные макроанализа обычно используют для выбора участка образца для более детального, микроскопического анализа.

Микроанализ это исследование структуры материалов на другом, более глубоком масштабном уровне. Микроанализ позволяет выявлять и детально исследовать зернистую структуру металлов и сплавов, определять размеры зёрен, их форму и особенности строения, обнаруживать и изучать микропоры, микровключения, микротрещины, а также другие микроскопические детали структуры.

Наблюдаемую в микроскоп картину строения материала принято называть *микроструктурой*. Микроструктура металлического материала характеризуется количеством, типом, формой и пространственным распределением различных фаз и микроскопических дефектов; размером, формой и ориентацией в пространстве кристаллитов (зёрен), формирующих поликристаллическую структуру металлов и сплавов при обычных условиях затвердевания.

Для наблюдения и изучения микроструктуры металлического материала необходим специальный *металлографический микроскоп* и особым образом подготовленный образец материала. Такой образец металлического материала, специально подготовленный для исследования микроструктуры, называют *микрошлифом*.

Процедура проведения микроскопического анализа металлического материала включает:

- приготовление микрошлифа;
- травление шлифа для выявления микроструктуры;
- исследование микроструктуры материала с помощью металлографического микроскопа.

Приготовление микрошлифа

Металлы и сплавы являются непрозрачными материалами, поэтому обычный биологический микроскоп, работающий «на просвет», не годится для исследования их микроструктуры. В то же время металлические материалы могут хорошо отражать свет. Эта особенность металлов и сплавов учитывается в конструкции металлографических микроскопов, работающих по принципу отражения световых лучей от поверхности исследуемых объектов.

Наилучшей отражающей способностью обладает идеально плоская и ровная поверхность металлического материала. Следовательно, образец металлического материала для исследования микроструктуры (микрошлиф) должен быть соответствующим образом подготовлен. Технология приготовления микрошлифа в общем случае включает следующие операции (этапы):

- *вырезание* требуемого образца;
- *выравнивание* его поверхности, выбранной для исследования;
- *шлифование* этой поверхности до исчезновения мелких неровностей;
- *полирование* поверхности до зеркального блеска;
- *травление* зеркальной поверхности для выявления деталей микроструктуры.

Приготовление микрошлифа обычно начинается с вырезания образца из определённого участка изучаемого объекта. Этот участок определяется целью проводимого исследования (например, ближе к излому или трещине на изделии). Для вырезания образца используют ножовку, карборундовый круг или другие средства, не допуская при этом перегрева материала.

Наиболее удобными для приготовления микрошлифов являются образцы цилиндрического или квадратного сече-

ния диаметром или стороной квадрата от 10 до 20 мм и высотой от 10 до 30 мм. В случае небольших размеров исследуемых объектов (проволоки, тонкого листа, мелких деталей и т.п.) для приготовления микрошлифов используют специальные зажимы (струбцины), либо помещают исследуемые объекты в оправку и заливают их легкоплавкими материалами, такими как сплав Вуда, бакелит, полистирол, эпоксидные смолы и др. (рис. 1).

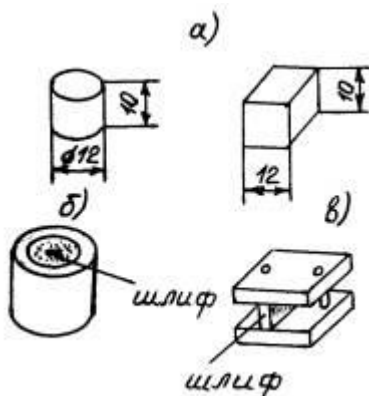


Рисунок 1 – Варианты металлографических шлифов

- а) – шлифы оптимальной формы и размеров;
- б) – шлиф, полученный заливкой образца в легкоплавкий материал;
- в) – шлиф, полученный зажимом образца в струбцину.

Подлежащая исследованию поверхность образца предварительно выравнивается, т.е. затачивается на абразивном круге с периодическим охлаждением образца для предотвращения перегрева. После завершения операции выравнивания переходят к этапу шлифования поверхности.

Шлифование проводят на наждачной шлифовальной бумаге (шкурке) разной зернистости, последовательно переходя от бумаги с крупным абразивным зерном к бумагам

все меньшей зернистости. Чтобы получить хорошее качество подготавливаемой поверхности образца шлифование с самого начала надо вести правильно и аккуратно. Нельзя переходить с крупнозернистой шлифовальной бумаги сразу на мелкозернистую. В этом случае грубые риски полностью не устраняются. Также не следует сильно нажимать на образец для ускорения работы, так как это может вызвать заметный нагрев шлифуемой поверхности и внедрение абразивных зёрен в металл, в результате чего на микрошлифе будут чёрные точки.

Шлифование производится вручную или на механическом станке с вращающимися дисками, покрытыми наждачной бумагой, к которой аккуратно прижимается обрабатываемая поверхность образца. При шлифовке вручную наждачную бумагу укладывают на ровную плоскую поверхность и, прижимая образец к абразивному покрытию бумаги, совершают возвратно-поступательные движения в одном направлении. В обоих случаях при переходе с крупнозернистой наждачной бумаги на более мелкозернистую образец очищают от наждачной пыли, поворачивают на 90° относительно первоначального направления шлифования и продолжают шлифовать до полного исчезновения рисок (царапин) от предыдущей обработки. Изменение направления шлифования на 90° при смене шкурки приводит к тому, что риски от новой наждачной бумаги оказываются перпендикулярными к предыдущим рискам. Это позволяет контролировать процесс шлифования, повышает его эффективность и улучшает качество подготавливаемой поверхности.

После шлифования на шкурке с наименьшим абразивным зерном остатки частиц металлического материала и абразива струей воды смывают с подготавливаемой поверхности и переходят к этапу её полирования. Для полирования поверхности образца обычно применяют механи-

ческий способ. Существуют также химико-механический и электролитический способы полировки.

Механическое полирование отличается от шлифования использованием более мелких абразивных частиц. В результате чего устраняются все мелкие риски от шлифовальной наждачной бумаги и поверхность металлического образца приобретает гладкий зеркальный вид.

Полирование механическим способом осуществляется на специальном станке, представляющем собой вращающийся диск, обтянутый сукном или фетром, постоянно смачиваемым полировальной жидкостью. Частота вращения диска от электродвигателя составляет 700-800 об/мин. Образец шлифованной поверхностью аккуратно прижимается к вращающемуся диску. Во время полирования нужно следить, чтобы диск не оставался сухим, так как при этом шлиф может окислиться и испортиться.

В качестве полировальной жидкости используют взвеси в воде (суспензии) мелких абразивных частиц: оксида алюминия, хрома, магния. Часто для полирования используют пасту ГОИ, которая изготавливается на основе оксида хрома. В ряде случаев, когда шлифы имеют высокую твердость, применяют алмазные полировальные пасты.

В случае химико-механической полировки в состав полирующей жидкости вводят химически активное вещество, ускоряющее процесс полирования. При электролитическом способе полирования образец в качестве анода помещают в электролитическую ванну и пропускают по цепи постоянный электрический ток, что приводит к растворению мелких неровностей поверхности образца-анода.

Необходимо отметить, что качество полирования подготавливаемой поверхности сложно оценить невооруженным глазом. Для этих целей можно использовать металлографический микроскоп, в который хорошо видны все мелкие неровности (риски, царапины). Если такие неровности

наблюдаются в микроскоп, полирование следует продолжить до полного их исчезновения.

После завершения полирования образец промывается под струёй воды и быстро высушивается прикладыванием полированной стороны к фильтровальной бумаге. Вытирать полированную поверхность и прикасаться к ней пальцами нельзя, так как это портит шлиф.

Зеркальная металлическая поверхность образца полностью отражает в поле зрения металлографического микроскопа все падающие на неё световые лучи, поэтому выглядит под микроскопом как светлая, яркая область. При этом не все элементы микроструктуры материала могут быть обнаружены. На полированной поверхности шлифа под микроскопом можно наблюдать только дефекты строения (царапины, раковины, микротрещины), а также неметаллические включения (оксиды, сульфиды, нитриды, графитные включения и т.п.). Эти элементы хуже, чем металлическая полированная поверхность отражают световые лучи, поэтому отчётливо видны на её светлом фоне (рис. 2).

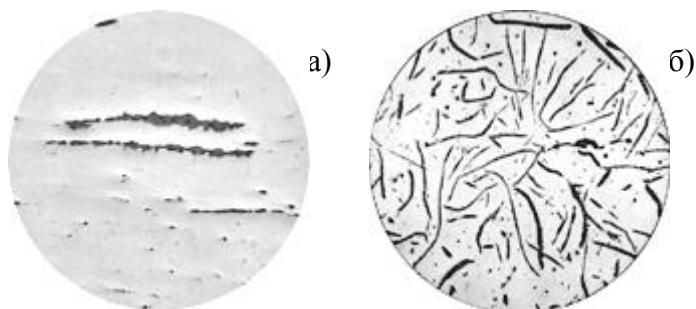


Рисунок 2 – Элементы микроструктуры материала на фоне полированной (не травленой) поверхности шлифов:

- а) дефекты строения на поверхности образца стали;
- б) графитные включения в сером чугуне.

Травление металлографического шлифа

Для выявления полной картины микроструктуры материала полированную поверхность шлифа подвергают травлению, т.е. обрабатывают реактивом-травителем. Различные элементы структуры имеют различную степень растворения или окрашивания при воздействии реактива-травителя, поэтому становятся видимыми и различимыми в микроскоп. Таким образом, выявление микроструктуры материала основано на различной степени протравливаемости различных его структурных составляющих.

В качестве реактивов-травителей используют растворы кислот, щелочей, солей, а также специальные составы. Для травления железоуглеродистых сплавов обычно применяют следующие реактивы:

а) 4 %-ный раствор азотной кислоты в этиловом спирте (для травления углеродистых сталей и чугунов);

б) 4 %-ный раствор пикриновой кислоты в спирте (для травления закалённых сталей);

в) пикриновая кислота и водный раствор едкого натрия для выявления карбидов.

После травления микрошлиф промывают проточной водой, протирают ватой, смочённой в спирте, и просушивают прикладыванием фильтровальной бумаги. В результате травления должно быть чёткое выявление микроструктуры. Если структура недостаточно выявлена, следовательно, микрошлиф недотравлен и его травят повторно. Если структура получается слишком тёмная, следовательно, микрошлиф перетравлен. Тогда его нужно переполлировать и повторно травить, уменьшив время выдержки или ослабив травитель.

Для травления углеродистых сталей и чугунов наибольшее распространение получил 4 %-ный раствор азотной кислоты в этиловом спирте. Этот реактив, нанесённый

на полированную поверхность образца, не одинаково воздействует на различные элементы структуры (фазы, зёрна, их границы), отличающиеся строением и свойствами. Одни разъедаются больше, другие - меньше. В результате гладкая поверхность шлифа становится рельефной.

При освещении такого шлифа в металлографическом микроскопе лучи света будут по-разному отражаться от различно протравившихся структурных составляющих. Элементы структуры, протравившиеся слабо, отразят в поле зрения микроскопа больше лучей света и будут казаться светлыми; структурные составляющие, протравившиеся сильно, отразят в поле зрения микроскопа вследствие рассеяния света меньше лучей и будут казаться тёмными.

Наиболее интенсивно протравливаются (разъедаются) границы зёрен. В этих местах - местах стыка кристаллитов, отличающихся повышенной дефектностью структуры, под воздействием реактива-травителя образуются заметные углубления, впадины, рассеивающие лучи света. В результате границы зёрен становятся отчётливо видимыми в микроскоп и проявляются как тонкие тёмные линии на фоне общей картины микроструктуры материала (рис. 3).

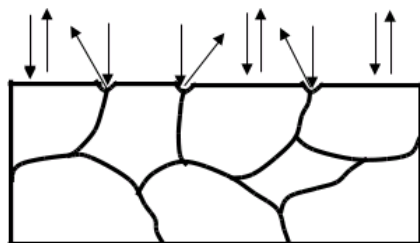


Рисунок 3 – Схема отражения лучей от протравленной поверхности шлифа

Зная интенсивность травления различных структурных составляющих сталей и чугунов, можно определить их на-

личие, относительное количество и взаимное расположение в исследуемых сплавах.

Так, цементит (карбид железа Fe_3C) отличается повышенной стойкостью к травлению 4 %-ным раствором азотной кислоты. В результате участки цементита оказываются гладкими, ровными, выступающими на рельефной поверхности протравленного микрошлифа и под микроскопом выглядят как светлые составляющие структуры.

Феррит (технически чистое железо) протравливается более интенсивно. Относительно крупные зёрна феррита под микроскопом также как зёрна цементита выглядят светлыми. Окраска (яркость) зёрен феррита может меняться из-за их различной кристаллографической ориентации и, как следствие, различной протравливаемости (рис. 4). Чтобы отличить зёрна цементита от зёрен феррита, можно протравить образец раствором пикрата натрия, который окрашивает цементит в тёмный цвет.

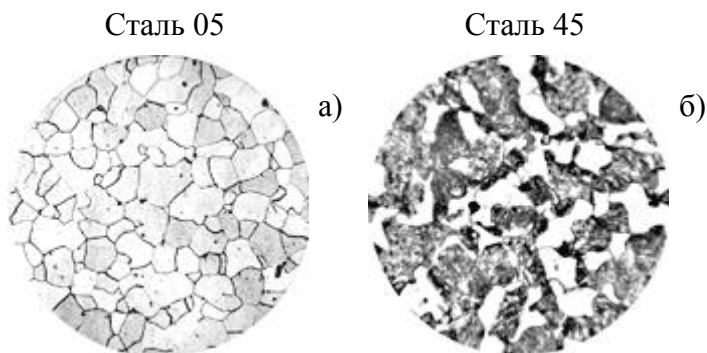


Рисунок 4 – Микроструктура сталей:

- а) зёрна феррита, имеющие различную яркость;
- б) зёрна перлита (тёмные) и феррита (светлые).

Перлит, представляющий собой мелкозернистую смесь феррита с цементитом, протравливается неоднородно. Пла-

стины (зёрна) цементита после травления шлифа выступают над зёрнами феррита, формируя микрорельеф, рассеивающий лучи света. Поэтому участки перлита под микроскопом выглядят как более тёмные составляющие структуры (рис. 5). Детально разглядеть строение перлита можно только при сравнительно больших увеличениях (600 крат и более).

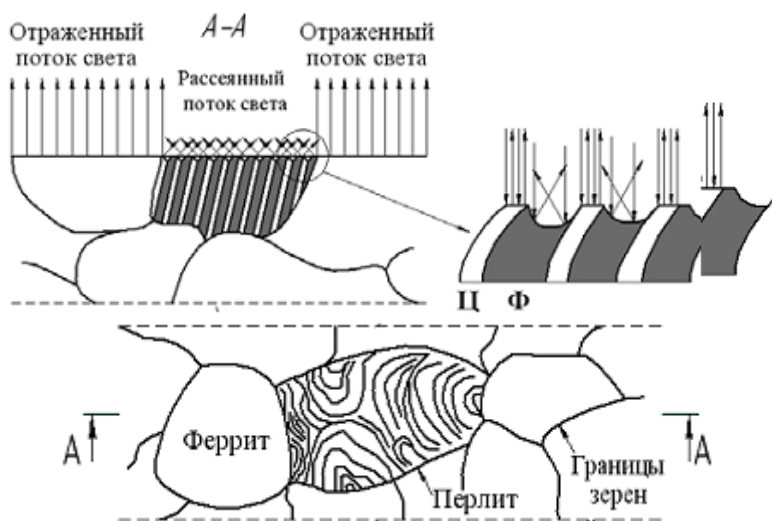


Рисунок 5 – Схема отражения лучей от протравленного образца с феррито-перлитной структурой

Устройство, принцип работы и основные характеристики оптических микроскопов

Микроскоп – прибор, предназначенный для получения сильно увеличенных изображений исследуемых объектов, или деталей их структуры, невидимых невооруженным глазом. В оптических микроскопах для этой цели исполь-

зуется электромагнитное излучение видимой части спектра, т.е. обычный белый свет. Существуют также приборы, использующие другие диапазоны излучений (ультрафиолетовое, рентгеновское) и потоки частиц-волн (электронов, нейтронов, гамма-квантов и др.).

Современные оптические микроскопы различных типов состоят из трёх основных систем: *оптической, осветительной и механической*.

Главными элементами оптической системы микроскопа являются *объектив* и *окуляр*. Объектив представляет собой линзу или чаще всего систему линз, установленных в общей оправе, обращённых к рассматриваемому объекту. Основное назначение объектива – создание действительно увеличенного изображения исследуемого объекта в фокальной плоскости окуляра. Окуляр это обращённая к глазу часть микроскопа, предназначенная для рассматривания с некоторым увеличением изображения, создаваемого объективом.

Осветительная система микроскопа обеспечивает равномерное освещение объекта исследования и обычно состоит из двух основных частей – *коллектора* и *конденсора*. Коллектор это часть осветительной системы, расположенная вблизи источника света и предназначенная для увеличения размера светящегося тела. Конденсор - короткофокусная линза или система линз, собирающих и направляющих лучи от источника света на объект исследования.

Важными элементами микроскопа являются также *апертурная* и *полевая диафрагмы*. Апертурная диафрагма ограничивает пучок световых лучей, входящих в систему микроскопа, полевая – ограничивает размер поля зрения.

Механическая система микроскопа содержит штатив, объединяющий все системы, и предметный столик, на котором размещают объект исследования. Обычно предметный столик обеспечивает координатное движение объекта.

Принципиальная схема оптического микроскопа, работающего в проходящем свете, и предназначенного для исследования прозрачных объектов, представлена на рис. 6.

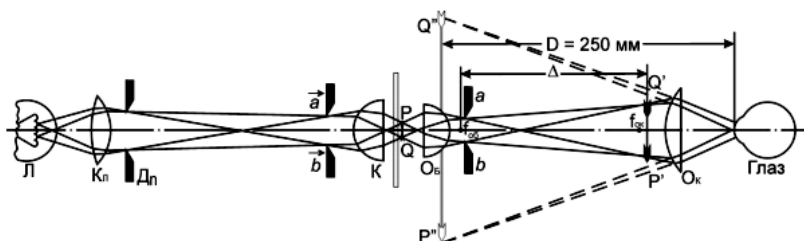


Рисунок 6 – Принципиальная схема микроскопа

Объектив Об создаёт действительное, перевернутое изображение $P'Q'$ объекта PQ в фокальной плоскости окуляра $Oк$. Это изображение рассматривается через окуляр, который даёт дополнительное увеличение и образует мнимое изображение объекта $P''Q''$ на расстоянии наилучшего видения глаза D . Общее увеличение микроскопа $У$ равно произведению увеличения объектива $У_{Об}$ на увеличение окуляра $У_{Ок}$:

$$У = У_{Об} \times У_{Ок}, \text{ где} \quad (1)$$

$$У_{Об} = \Delta / f_{об}; \quad У_{Ок} = D / f_{ок} \quad (2)$$

(Δ – расстояние от задней фокальной плоскости объектива до плоскости изображения $P'Q'$, так называемая оптическая длина тубуса, $f_{об}$ – фокусное расстояние объектива, $f_{ок}$ – фокусное расстояние окуляра).

Для получения контрастных и равномерно освещенных изображений в микроскопе осветительная система устроена следующим образом. Источник света $Л$ проектируется коллектором $Кл$ в плоскость апертурной диафрагмы ab конденсора $К$, а полевая диафрагма $Дп$ проектируется конденсором в плоскость предмета PQ . При наблюдении в микроскоп апертурная диафрагма, проектируемая конден-

сором и объективом в выходной зрачок объектива ab , открывается приблизительно до $2/3$ диаметра выходного зрачка объектива. Полевая диафрагма открывается до размера наблюдаемого поля, ограниченного диафрагмой окуляра микроскопа. При такой схеме каждая точка источника света действует одинаково на все точки поля зрения, что дает равномерную освещенность поля.

Особенностью *металлографических микроскопов* является то, что они предназначаются для исследования непрозрачных объектов, поэтому работают не в проходящем, а в отраженном от объекта свете. Осветительная система таких микроскопов с помощью комплекта специальных призм и зеркал направляет лучи света через объектив на поверхность исследуемого образца. Далее свет отражается от поверхности образца и через тот же объектив поступает в наблюдательную (оптическую) систему. Таким образом, один и тот же объектив используется и в осветительной системе микроскопа (в качестве конденсора) и в наблюдательной.

Примерами металлографических микроскопов, широко используемых в настоящее время в исследовательских и учебных лабораториях, являются МИМ-7, МИМ-8, ММР-2(2Р), ММУ-3, НЕОРНОТ и другие.

Основными характеристиками оптических микроскопов любого типа, в том числе и металлографических, являются *разрешающая способность* и *увеличение*.

Разрешающая способность – это способность микроскопа давать четкое раздельное изображение двух близко расположенных точек, деталей рассматриваемого объекта. Человеческий глаз, представляющий собой биологическую оптическую систему, при нормальной остроте зрения на расстоянии наилучшего видения ($D = 250$ мм) может различать мелкую структуру, состоящую из линий или точек, если соседние элементы структуры находятся на расстоянии друг от друга в среднем не меньшем $0,2$ мм. Оптиче-

ские микроскопы различных типов позволяют достигать значительно более высоких разрешений. При этом существует фундаментальное ограничение на разрешающую способность оптических микроскопов, что обусловлено волновой природой света и явлением дифракции световых волн на микроскопических элементах структуры. Данное ограничение проявляется в невозможности получать изображение объектов меньших по размерам, чем длина волны используемого излучения.

Количественным критерием разрешающей способности микроскопа является *предел разрешения*. Предел разрешения - это наименьшее расстояние между двумя точками (детальями структуры), которые видны в микроскопе раздельно. Чем меньше предел разрешения, тем выше разрешающая способность микроскопа.

Теория разрешающей способности микроскопа, разработанная Э. Аббе, даёт следующую формулу для расчёта предела разрешения d :

$$d = 0,51 \lambda / A , \quad (3)$$

где λ – длина волны используемого света, A – числовая апертура объектива.

Апертура – характеристика, описывающая способность оптической системы собирать свет и противостоять дифракционному размытию деталей изображения. Числовая апертура объектива, характеризующая световой поток, поступающий в объектив, определяется выражением:

$$A = n \times \sin \alpha , \quad (4)$$

где n – коэффициент преломления среды между объективом и объектом исследования, α – *апертурный угол* – угол между оптической осью и крайним лучом конического светового пучка, поступающего в объектив от микроскопической частицы, располагаемой на поверхности объекта исследования (рис. 7).

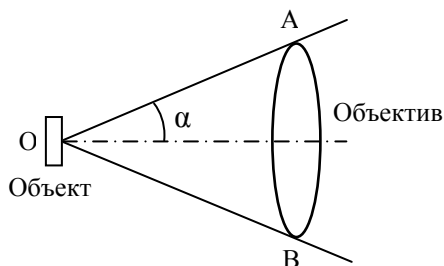


Рисунок 7 – Световой поток, поступающий в объектив

Числовая апертура является важнейшей характеристикой объектива. Чем больше значение A , тем меньше рассчитываемый по формуле (3) предел разрешения d , а, следовательно, выше разрешающая способность микроскопа. Значение числовой апертуры (A), вместе со значением фокусного расстояния (F) обычно указывается на оправе объектива.

Изменение числовой апертуры объектива, согласно формуле (4), может происходить за счёт изменения коэффициента преломления среды n и апертурного угла α . Пространство между объектом и объективом обычно заполнено воздухом, для которого $n = 1$. Такие объективы принято называть сухими. Для повышения светосилы объектива и величины его числовой апертуры пространство между линзой объектива и объектом наблюдения заполняют прозрачной жидкостью с более высоким коэффициентом преломления. Такие объективы называют иммерсионными. В качестве иммерсионной жидкости используют кедровое масло ($n = 1,515$), воду ($n = 1,33$) и др.

Предельный апертурный угол современных объективов достигает 72° , поэтому максимальное значение A , рассчитываемое по формуле (4), для сухого объектива составляет $0,95$; а для объектива с масляной иммерсией – $1,44$.

Если в формуле (3) при расчете использовать длину волны света $\lambda = 555$ нм, к которой наиболее чувствителен человеческий глаз, то предел разрешения сухого объектива составит 298 нм ($\sim 0,3$ мкм), а с масляной иммерсией – 197 нм ($\sim 0,2$ мкм).

Разрешающую способность микроскопа можно повысить, уменьшив длину волны используемого света. Существуют специальные микроскопы с приспособлениями для наблюдения и фотографирования объектов, в которых используется ультрафиолетовое излучение. Поскольку длина волны ультрафиолетовых лучей в два раза меньше, чем у видимого света, такие микроскопы способны обеспечить более высокое разрешение. Предел разрешения ультрафиолетовых микроскопов составляет примерно 0,1 мкм.

Более высокую разрешающую способность демонстрируют электронные микроскопы. Длина волны движущегося электрона в 1000 раз меньше длины волны видимого света, поэтому практический предел разрешения электронного микроскопа составляет примерно 0,5 нм (0,0005 мкм).

Общее увеличение оптического микроскопа определяется произведением увеличений объектива и окуляра. *Полезным увеличением* микроскопа называют такое увеличение, при котором глаз наблюдателя может полностью использовать разрешающую способность микроскопа, т.е. когда детали структуры, имеющие размер, равный пределу разрешения микроскопа (d_m), имеют изображение, размер которого равен пределу разрешения глаза ($d_{гл}$).

Расчеты показывают, что полезное увеличение микроскопа находится в области 500÷1000-кратной величины числовой апертуры объектива. При увеличении меньше 500 А разрешающая способность глаза ($d_{гл} = 0,14 \div 0,28$ мм) не позволяет рассмотреть в получаемом изображении тонкости структуры. Увеличение больше 1000 А не даст эффекта, так как возможности оптики уже полностью реализованы.

Устройство и работа микроскопа ММР-2Р

Металлографический микроскоп ММР-2Р предназначен для исследования микроструктуры металлов и других непрозрачных объектов в светлом поле при прямом и косом освещении, в тёмном поле и в поляризованном свете. Микроскоп обеспечивает возможность визуального наблюдения объектов в бинокулярную насадку и на демонстрационном экране, а также фотографирования объектов на фотопластинку или фотоплёнку.

Оптическая схема микроскопа показана на рис. 8. Лучи от источника света (нити лампы накала) 1 проходят через коллектор 2, теплофильтр 5, предохраняющий оптику от нагрева, призму 3, сменный светофильтр 6, апертурную диафрагму 4, линзу 7, отражаются от зеркала 8 и через полевую диафрагму 11, служащую для ограничения участка наблюдаемого объекта, и линзу 9 поступают на полупрозрачную пластинку 10.

При работе в светлом поле полупрозрачная пластинка 10 отклоняет световой пучок на 90° , направляя его через объектив 12 на объект, помещенный в фокальную плоскость объектива. Лучи, отражённые от поверхности объекта (микрошлифа), снова проходят через объектив, и поступают на полупрозрачную пластинку 10, которая часть этих лучей пропускает через себя. Изображение объекта с помощью ахроматической линзы 13 проецируется в фокальную плоскость окуляров.

При визуальном наблюдении зеркало 14 и призма 15 направляют лучи в фокальную плоскость окуляров бинокулярной насадки 16, где образуется изображение объекта, рассматриваемое в окуляры 17.

При наблюдении в поляризованном свете в ход лучей вводятся поляризатор 18 и анализатор 19.

При наблюдении в темном поле вместо линзы 9 и по-

лупрозрачной пластинки 10 в ход лучей включаются линза темного поля 20 и кольцевое зеркало 21, направляющее световой пучок на параболическую отражающую поверхность металлического конденсора 22. Отразившись от конденсора, лучи концентрируются на объекте. Далее ход лучей такой же, как при наблюдении в светлом поле.

При наблюдении изображения объекта на экране 23 ахроматическая линза 13 и зеркало 14 выключаются, в ход лучей вводится телеобъектив 24, который сводит лучи в фокальную плоскость фотоокуляра 25. Включенный в систему фотоокуляр проецирует с помощью зеркал 26 и 27 изображение объекта на экран 23.

При фотографировании в ход лучей вместо зеркала 26 включается прямоугольная призма 28 фототубуса, которая направляет лучи па фотопластинку 29 или па пленку 30 фотокамеры.

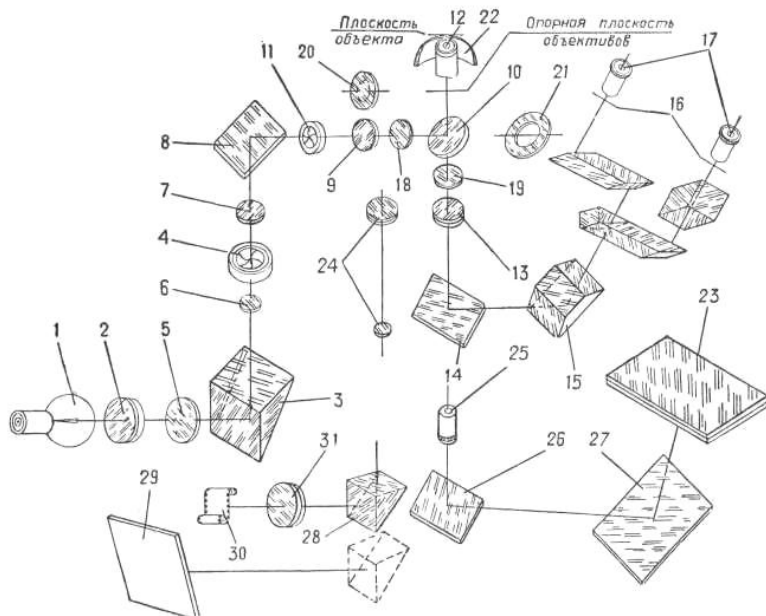


Рисунок 8 – Оптическая схема микроскопа ММР-2Р

Общий вид металлографических микроскопов семейства ММР показан на рис. 9. (Верхний рисунок – ММР-2, нижний – ММР-2Р).

Предметный столик 62 (63), предназначенный для размещения исследуемых микрошлифов, установлен на штативе 61, который состоит из основания 65, корпуса 66, головки 67, осветительного устройства 68 и бинокулярной насадки 16. Перемещение предметного столика в двух взаимно перпендикулярных направлениях осуществляется с помощью рукояток 100 и 101.

В корпусе 66 располагается диск 69 со сменными фотоокулярами, увеличения которых награвированы на диске. На головке микроскопа 67 закреплен револьвер 74 с объективами, который можно вращать только при поднятом до упора предметном столике. Перемещение столика в вертикальном направлении осуществляется с помощью рукоятки 103.

Точная фокусировка микроскопа на объект осуществляется вращением микрометрических винтов 71 и 72. Механизм переключения изображения объекта с визуального тубуса на экран 23 или на фотокамеру приводится в действие поворотом рукоятки 70.

Бинокулярная насадка 16 установлена в гнездо корпуса микроскопа постоянно. Окулярные трубки насадки можно раздвигать в пределах 55—75 мм в зависимости от расстояния между глазами наблюдателя. В левой окулярной трубке насадки смонтирован механизм с поворачивающимся кольцом 73 и шкалой для установки окуляра по глазу наблюдателя в пределах ± 5 диоптрий.

Осветительное устройство микроскопа состоит из фонаря 80, который закреплен на корпусе 81, и патрона 82 с лампой. При настройке освещения патрон можно перемещать вдоль его оси и центрировать, вращая винты 83. Рукоятка 84 служит для крепления патрона 82. Рукоятка 85

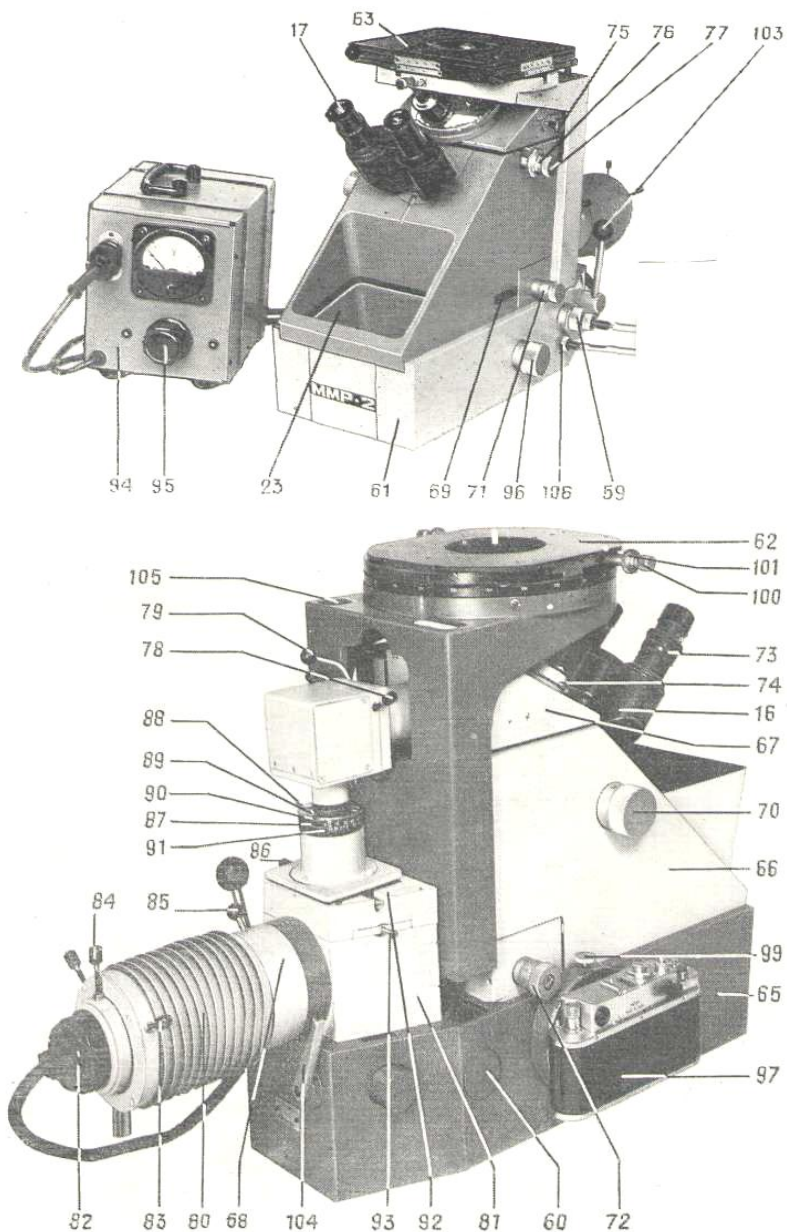


Рисунок 9 – Общий вид микроскопов ММР

служит для перемещения коллектора вдоль оси. Сменные светофильтры смонтированы в одной оправе, которая перемещается в направляющих с помощью рукоятки 93 и фиксируется в четырех положениях.

В качестве источника света применена лампа накаливания ОП12-100, включаемая в сеть переменного тока 220 В через блок питания 94. На корпусе блока питания имеется переключатель 95 для регулировки накала лампы. Для увеличения срока службы лампы рекомендуется работать при визуальном наблюдении с неполным накалом лампы.

На патрубке головки 67 расположены винты 78, предназначенные для центрировки полевой диафрагмы. Изменение диаметра полевой диафрагмы достигается с помощью рукоятки 79. Регулировка открытия апертурной диафрагмы осуществляется поворотом рукоятки 91.

Сверху на корпусе 81 установлен узел для осуществления фотографирования. Рукоятка 96 служит для переключения зеркала 26 (см. рис. 7) и прямоугольной призмы 28 при переходе от наблюдения на экране к фотографированию на пленку фотокамеры 97 или на фотопластинку.

Справа от наблюдателя на корпусе расположена рукоятка 75, предназначенная для переключения линзы 9 светлого поля, полупрозрачной пластинки 10 и включения линзы 20 темного поля и кольцевого зеркала 21.

При работе в поляризованном свете с помощью рукоятки 76 включаются поляризатор и анализатор. Поворот анализатора осуществляется вращением барашка 77, на котором нанесена шкала с делениями «О», «45» и «90».

Чаще всего микроскоп используют для визуального наблюдения в светлом поле. Для этого в оптическую систему прибора с помощью рукоятки 75 включают полупрозрачную пластинку и линзу светлого поля. Поворотом рукоятки 70 вводят в ход лучей зеркало визуального наблюдения. С помощью рукоятки 103 поднимают до упора

предметный столик и поворотом револьвера 74 устанавливают в рабочее положение необходимый объектив. Вставляют в трубки бинокулярной насадки 16 парные окуляры и поворотом переключателя 95 включают лампу осветителя. (При визуальном наблюдении можно работать при напряжении 6-7 В).

Опустив до упора предметный столик, устанавливают на него объект исследуемой поверхностью к объективу. После чего, наблюдая правым глазом в правую окулярную трубку насадки и вращая микрометрический винт 71, фокусируют микроскоп на объект. Пользуясь диоптрийным механизмом левой окулярной трубки, фокусируют левый окуляр насадки на объект. Устанавливают окулярные трубки насадки в соответствии с расстоянием между глазами, при этом поля левой и правой трубок должны слиться в одно поле.

Для общего обзора исследуемого объекта целесообразно применять слабые по увеличению объективы, для более подробного изучения объекта – сильные. Объективы и окуляры подбираются по таблице увеличений (табл. 1).

Таблица 1 – Увеличения микроскопа

Объективы	Окуляры		
	12,5 ^x	15 ^x	20 ^x
F = 23,2; A = 0,17	100	130	170
F = 8,2; A = 0,37	300	370	490
F = 6,2; A = 0,65	400	490	650
F = 4,3; A = 0,95	680	700	930

Освещение при работе в светлом поле регулируют с помощью диафрагм. Освещенность и размер раскрытия апертурной диафрагмы сказываются на разрешающей способности микроскопа и на качестве изображения объекта.

Как правило, апертурную диафрагму открывают на $3/4$ диаметра зрачка, который виден в визуальный тубус при снятом окуляре. При сильно прикрытой диафрагме изображение объекта получается искаженным, при широко открытой диафрагме – бледным, неконтрастным. Полевая диафрагма ограничивает поле зрения в плоскости объекта в соответствии с полем зрения применяемого окуляра или участок на объекте, который интересует исследователя. Полевую диафрагму центрируют вращением винтов 78 так, чтобы ее изображение занимало симметричное положение в поле зрения окуляра. Косое освещение объекта достигается смещением с оси апертурной диафрагмы с помощью винта 92.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с устройством, принципом работы и основными характеристиками металлографических микроскопов. Освоить порядок работы на микроскопе ММР-2Р.

2. Изучить технологию приготовления микрошлифов.

3. Выполнить шлифование и полирование поверхности металлического образца. Рассмотреть полированную поверхность под микроскопом. Зарисовать и прокомментировать наблюдаемую картину строения поверхности.

4. Протравить полированную поверхность образца и рассмотреть её под микроскопом. Зарисовать и прокомментировать наблюдаемую в микроскоп микроструктуру материала.

Содержание письменного отчёта

1. Описать цель работы, сущность и содержание процедуры проведения микроскопического анализа металлических материалов.

2. Кратко описать технологию приготовления микрошлифов.

3. Начертить принципиальную схему оптического микроскопа и описать его основные характеристики.

4. Зарисовать и прокомментировать наблюдаемую под микроскопом картину строения исследуемых образцов.

Рекомендуемая литература

1. Материаловедение и технологические процессы в машиностроении: учебное пособие: В 2 ч. / С.И.Богодухов, А.Д.Проскурин [и др.]; под общ. ред. проф. С.И. Богодухова. – Старый Оскол: ТНТ, 2010. – 560 с.

2. Тарасенко Л. В. Материаловедение: учебное пособие для вузов [Электронный ресурс] / Л. В. Тарасенко, С. А. Пахомова, М. В. Унчикова, С. А. Герасимов; под ред. Л. В. Тарасенко. - Москва: НИЦ Инфра-М, 2012. - 475 с. - Режим доступа: <http://znanium.com/bookread.php?book=257400>.

3. Материаловедение и технология материалов: учебное пособие / под ред. А.И. Батышева, А.А. Смолькина. – Москва: НИЦ ИНФРА-М, 2013. – 288 с. – (Высшее образование: Бакалавриат). – ISBN 978-5-16-004821-5. – Режим доступа: <http://znanium.com/bookread.php?book=397679>.

4. Стуканов В. А. Материаловедение: учебное пособие / В. А. Стуканов. – Москва: ИД ФОРУМ: НИЦ ИНФРА-М, 2014. – 368 с. – ISBN 978-5-8199-0352-0. – Режим доступа: <http://znanium.com/bookread.php?book=430337>.

5. Материаловедение: Учебное пособие / Давыдова И. С., Максина Е.Л., 2-е изд. – М.: ИЦ РИОР, НИЦ ИНФРА-М, 2016. – 228 с. – ISBN 978-5-369-01222-2. – Режим доступа: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=536942>.

Отпечатано в Издательско-полиграфическом центре
Набережночелнинского института
Казанского (Приволжского) федерального университета

Подписано в печать 22.04.2019 г.
Формат 60x84/16. Печать ризографическая.
Бумага офсетная. Гарнитура «TimesNewRoman».
Усл. п. л.1,6. Уч.-изд. л.1,6.
Тираж 50 экз. Заказ № 1266.

423810, г. Набережные Челны, Новый город, проспект Мира, 68/19
тел./факс (8552) 39-65-99, e-mail: ic-nchi-kpfu@mail.ru