

MAGUS

МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ МИКРОСКОП

Надежность металлических изделий определяется не только химическим составом сплава, но и его внутренней структурой. Именно структура во многом определяет прочность, пластичность, ударную вязкость, износостойкость и другие эксплуатационные свойства материала.

Металлография — раздел металловедения, изучающий структуру металлов и сплавов и ее влияние на физические и эксплуатационные характеристики материалов. Металлографические исследования используют для контроля качества продукции, анализа причин разрушений, совершенствования существующих технологий и разработки новых сплавов с заданными свойствами.

Исследование структуры раскрывает прошлое материала и позволяет прогнозировать поведение готового изделия в реальных условиях эксплуатации. Кроме того, анализ структуры используют для контроля качества технологических процессов, например, после термической обработки иликовки.

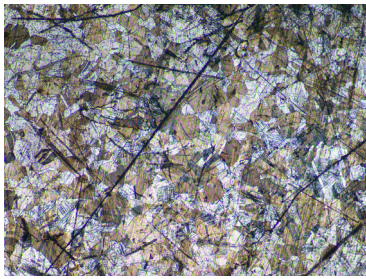
Исследование материала включает изучение макроструктуры, микроструктуры и более тонких структурных особенностей.

Макроструктура видна невооруженным глазом или на небольшом увеличении. Для ее исследования достаточно лупы или стереомикроскопа. На изломах выявляют дефекты, например, раковины, газовые пузыри, расслоения. Такой анализ дает представление об общем состоянии металла.

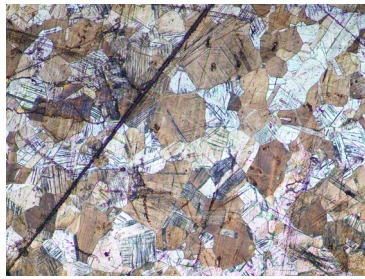
Микроструктуру изучают с помощью металлографического микроскопа. Для исследования изготавливают полированные шлифы. На них различают фазовый состав, размер и форму зерен, состояние границ зерен, неметаллические включения и другие особенности строения материала.

Для исследования еще более тонких деталей структуры применяют методы электронной микроскопии. Они позволяют изучать субмикронные структурные элементы и процессы, недоступные для световой микроскопии.

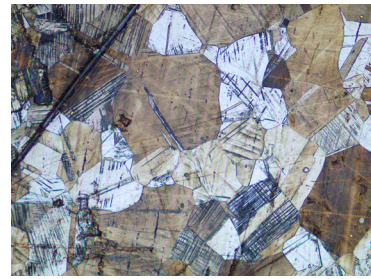
В этой статье остановимся на исследовании микроструктуры с помощью металлографического микроскопа.



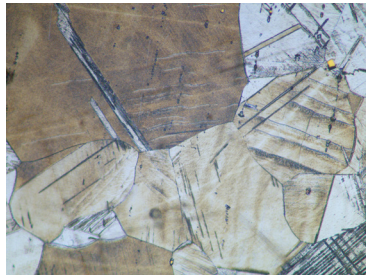
Объектив 5х



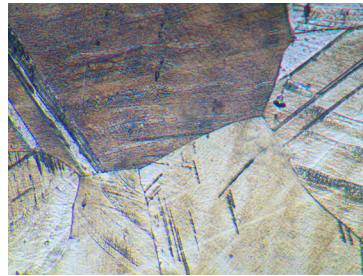
Объектив 10х



Объектив 20х



Объектив 50х



Объектив 100х

Размер большинства зерен металлов составляет от долей микрона до десятков микрон. Поэтому для исследования микроструктуры используют металлографические микроскопы с разрешением порядка 0,3–0,5 мкм, позволяющим различать столь мелкие структурные элементы.

Микроструктура позволяет сделать выводы о составе, состоянии и истории обработки материала. По характерным признакам специалист может определить способ получения материала, особенности его деформации и термической обработки.

Каждое воздействие на материал отражается на структуре: литье или ковка, прокатка или прессование, нагрев или охлаждение. Микроструктура материала — это история событий, которые с ним происходили. Одновременно это и «черный ящик», в котором сохранилась информация об этих событиях. Задача металловеда — правильно ее расшифровать.

Анализу подвергаются размеры и форма зерен, состояние их границ, фазовый состав и однородность структуры. Металлографический микроскоп — инструмент, который помогает специалисту расшифровать эту информацию. Это ключ к «черному ящику» материала.

Разберемся, какие особенности металлографических микроскопов влияют на выбор модели.

В статье рассмотрим:

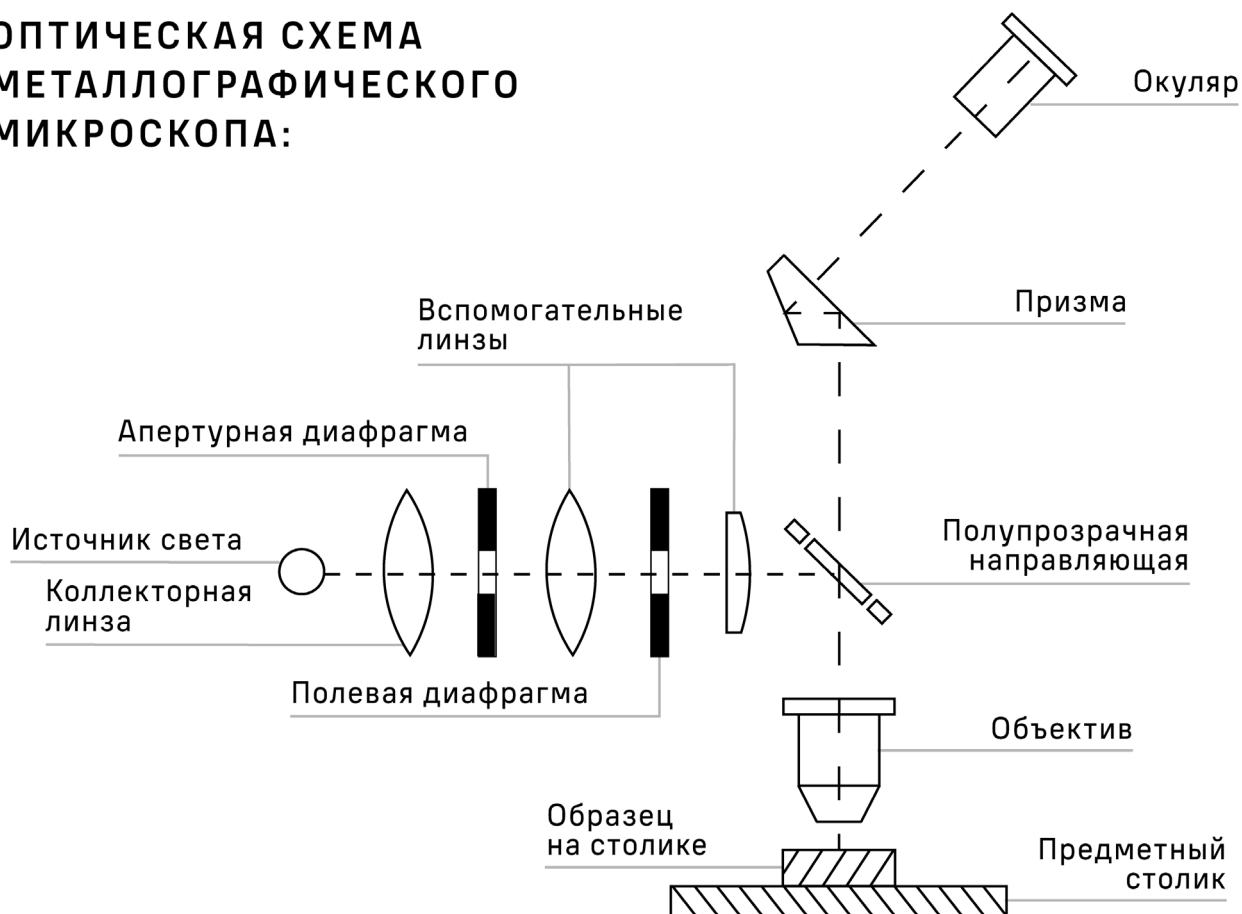
- какие бывают штативы и оптические схемы у металлографических микроскопов;
- как подготовить образец для исследования;
- какие методы исследования (контрастирования) используются в металлографии.

РАЗЛИЧИЯ ОПТИЧЕСКИХ СХЕМ И ШТАТИВОВ

Выбор конструкции металлографического микроскопа определяется типом исследуемых образцов и условиями работы. Поэтому перед выбором модели важно понять, чем отличаются прямые и инвертированные микроскопы, а также какие задачи решают различные типы штативов.

Металлографический микроскоп работает с непрозрачными объектами, следовательно, в отраженном свете. Осветитель расположен со стороны объектива. Система линз и зеркал направляет свет через объектив на поверхность образца. Свет отражается от образца и возвращается обратно в объектив. Объектив формирует увеличенное изображение и передает его в окуляры или на камеру.

ОПТИЧЕСКАЯ СХЕМА МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОГО МИКРОСКОПА:



В металлографии используют две оптические схемы: инвертированную и прямую. Выбор зависит от формы и размеров образца. Для изучения рельефных объектов нужен инвертированный микроскоп. В таком микроскопе объективы стоят под столиком. Объект кладут на столик микроскопа исследуемой поверхностью вниз. Микроскоп не ограничивает размер и рельеф образца. Инвертированная схема подходит для больших, тяжёлых, неразрезанных объектов. Для исследования достаточно подготовить только одну поверхность образца. Микроскопы серии MAGUS Metal V700 ограничивают массу образца до 2 кг, а микроскоп MAGUS Metal V790 до 30 кг.



Серии MAGUS
Metal V700 и V790

Для изучения плоских образцов подходят прямые микроскопы. В прямом микроскопе объектив расположен над столиком. Объект кладут на столик рабочей поверхностью вверх. Рабочая и опорная поверхности должны быть параллельны друг другу. В этом случае исследуемая поверхность располагается перпендикулярно оптической оси микроскопа. Прямая схема подходит для шлифов и тонких срезов.

Некоторые модели прямых металлографических микроскопов, помимо освещения отраженным светом, поддерживают и освещение проходящим светом. MAGUS предлагает четыре серии прямых металлографических микроскопов – MAGUS Metal 600, 630, 650 и 690.



Серии MAGUS
Metal 600, 630, 650, 690

Микроскопы с инвертированной оптической схемой не требуют параллельности двух поверхностей, поэтому во многих случаях являются более универсальным решением. Однако для решения некоторых задач подходят только прямые микроскопы. При контроле качества лакокрасочного покрытия изучаются инородные включения, пузыри в краске и царапины на поверхности. Чтобы избежать появления дополнительных царапин в момент исследования, нельзя располагать объект на столике вниз рабочей поверхностью. Тонкие пленочные образцы, которые прогибаются под собственным весом, влажные фильтры и объекты с выраженной топографией также требуют верхнего расположения объективов и столика без отверстий.

Прямые микроскопы различаются формой штативов. Пробы воздуха, воды, нефтепродуктов на фильтрах, лакокрасочные покрытия на образцах и плоские металлические шлифы исследуют на микроскопах серии MAGUS Metal 600 со столиком 210×140 мм с диапазоном перемещения 75×50 мм и стеклянной вставкой. Диапазон механизма фокусировки ограничивает высоту объекта исследования до 20 мм. Осветитель проходящего света расширяет области применения металлографического микроскопа и позволяет исследовать не только непрозрачные, но и прозрачные или полупрозрачные объекты, например пленки и пластины.



Серии MAGUS Metal 600

Модели серии MAGUS Metal 630 на универсальном штативе не ограничивают высоту и геометрию объектов исследования, работают в условиях тесного пространства и допускают модернизацию штатива под конкретные требования производственной линии. Эти модели, как и остальные прямые микроскопы, требуют соблюдения параллельности опорной и рабочей поверхности.



Серии MAGUS Metal 630

Для исследования кремниевых пластин и фотшаблонов подходят инспекционные микроскопы серии MAGUS Metal 650. Микроскопы разработаны для работы в условиях микро- и нанофотолитографии и отличаются большим предметным столиком 280×270 мм с диапазоном перемещения образца 204×204 мм. Эти микроскопы подходят для сканирования пластин диаметром до 200 мм и используются для контроля качества фотшаблонов и масок на предприятиях, где изготавливают полупроводники. Инспекционные микроскопы применяются на всех этапах производства: для контроля чистоты поверхности и совмещения слоёв, выявления микротрещин и дефектов литографии. Тонкая фокусировка с шагом 0,7 мкм упрощает наводку на резкость на большом увеличении.



Серии MAGUS Metal 650

ПРОБОПОДГОТОВКА

На необработанной поверхности металла микроструктура неразличима, поэтому важна тщательная подготовка образца. Чтобы получить достоверные результаты исследований и избежать ошибочных выводов, поверхность образца подготавливают по специальной методике. Пробоподготовка включает четыре этапа.

На образце формируют плоскую поверхность с помощью токарной или фрезерной обработки. Отклонения от плоскости приведут к оптическим искажениям.

Тонкие и небольшие образцы предварительно прессуют в полимерную смолу, после чего также формируют плоскую поверхность.

Шлифовка поверхности уменьшает уровень шероховатости до нужного значения.

Полировка позволяет получить зеркальную поверхность и подготовить образец к дальнейшему исследованию. После полировки хорошо выявляются неметаллические включения, поскольку они обрабатываются иначе, чем металлическая матрица.

Затем поверхность подвергается химическому травлению кислотными или щелочными растворами: происходит растворение одних фаз, окисление и окрашивание других. После травления зернистое строение металла становится контрастным.

Микрошлиф изучают как до травления, так и после него.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

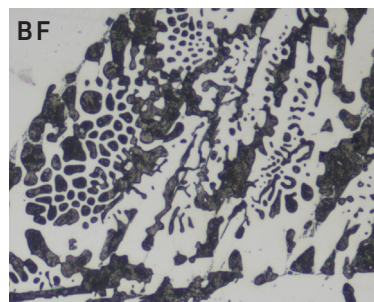
Прикладная микроскопия основана на анализе взаимодействия видимого света с поверхностью материала. Именно особенности этого взаимодействия позволяют судить о структуре образца. Различия в отражении, преломлении и пропускании света отдельными участками формируют контраст изображения. Так проявляется структура образца.

На фотографиях, приведённых ниже, показано, как один и тот же объект выглядит в разных режимах освещения.

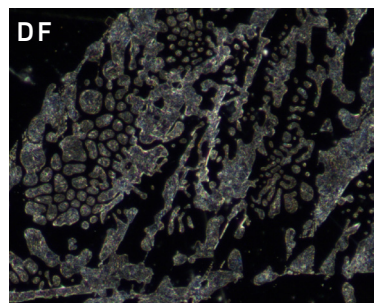
Выбор метода микроскопического наблюдения определяется оптическими свойствами материала и характером структуры. Сложная структура металлографических объектов часто затрудняет однозначный выбор метода исследования. Даже опытные исследователи, чтобы получить максимально информативное изображение, пробуют разные режимы освещения и фильтры.

На практике важно сравнить изображения, которые получены при использовании светлого и тёмного поля, поляризованного света и ДИК. Для изучения микроструктуры металлов и сплавов металлографические микроскопы MAGUS реализуют все четыре метода исследования.

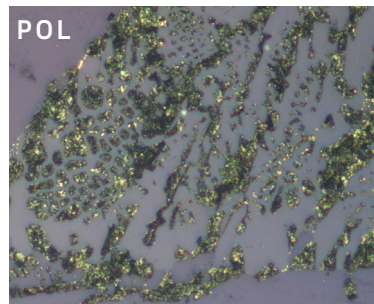
Метод светлого поля формирует общее увеличенное изображение объекта с естественным распределением яркости и контраста. Этот метод применяется во всех моделях металлографических микроскопов MAGUS. При прямом освещении отсутствуют теневые области, поэтому сложно оценить топографию поверхности объекта и выявить мелкие дефекты. Именно наличие теней позволяет воспринимать рельеф поверхности.



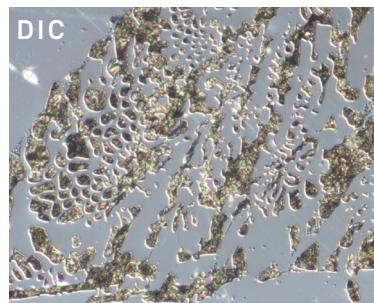
При работе по методу **темного поля** получаем контрастные изображения границ зерен и дефектов поверхности, невидимых в светлом поле. В режиме темного поля осветительная система формирует полый конус света. В объектив попадает только свет, рассеянный микронеровностями поверхности. Поэтому границы зерен, царапины и другие дефекты выглядят яркими на темном фоне. Метод темного поля реализован в моделях MAGUS Metal 600 BD, 630 BD, 650 BD, 690 BD, V700 BD и V790 DIC.



Поляризованный свет позволяет выявлять анизотропные участки структуры и некоторые типы неметаллических включений. Простая поляризация применяется во всех моделях металлографических микроскопов MAGUS.



Метод DIC — дифференциально-интерференционный контраст — подходит для изучения топографии образцов. Изображение приобретает псевдорельефный характер, благодаря чему мелкие перепады высот становятся более заметными. Метод DIC реализован в моделях MAGUS Metal 600 DIC, 630 DIC, 650 DIC, 690 DIC, V700 DIC и V790 DIC.



ВЫБОР МИКРОСКОПА

Выбор металлографического микроскопа всегда определяется задачами исследования, типом образцов и условиями работы. Даже небольшие конструктивные различия могут существенно повлиять на удобство работы и качество получаемых результатов.

Специалисты MAGUS помогают подобрать оборудование под конкретные задачи исследования и учитывают особенности каждой модели микроскопа.

Мы рекомендуем выбирать микроскоп не по каталогу, а на реальных образцах.

В демонстрационном зале можно протестировать несколько моделей на собственных объектах исследования, сравнить удобство работы, протестировать различные методы контрастирования, оценить качество изображения и выбрать наиболее подходящую модель.

Во время тестирования цифровая камера позволит вывести изображение на монитор и сохранить фотографии, полученные на разных моделях микроскопов для последующего сравнения.

MAGUS предлагает 19 моделей камер, а статья [«ВЫБОР КАМЕРЫ ДЛЯ МИКРОСКОПА»](#) поможет подобрать подходящий вариант.

Марина Лобач

Научный руководитель проекта MAGUS