

**Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Иркутская государственная сельскохозяйственная академия**

Кафедра «Технический сервис и общеинженерные дисциплины»

С. В. Агафонов, М. В. Охотин

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

МАКРО- И МИКРОСКОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕТАЛЛОВ

Учебно–методическое пособие

Иркутск 2014



УДК 620.22+621.7./9+669.017:620.182

А 235

Агафонов С. В., Охотин М. В.

А 235

Материаловедение и технология конструкционных материалов. Макро- и микроскопический анализ: учеб. – метод. пособие. – Иркутск : Изд-во ИрГСХА, 2014. – 14 с.

Рекомендовано к печати научно-методическим советом инженерного факультета Иркутской государственной сельскохозяйственной Академии (протокол № 10 от 19 июня 2014 г.).

Рецензенты: кандидат технических наук, доцент **П. И. Ильин**, кафедра «Эксплуатация машинно-тракторного парка, безопасности жизнедеятельности и профессионального обучения» инженерного факультета ФГБОУ ВПО Иркутской государственной сельскохозяйственной Академии;

кандидат технических наук, доцент **Н.Г. Филиппенко**, кафедра «Технологии ремонта транспортных средств и материаловедения» факультета транспортные системы ФГБОУ ВПО Иркутского государственного университета путей сообщения.

Даны общие сведения о макро- и микроскопическом анализе металлов. Приведена методика приготовления микрошлифов. Показана конструкция металлографического микроскопа МИМ-7.

Учебно-методическое пособие подготовлено на основе требований Федерального государственного образовательного стандарта и программы дисциплины «Материаловедение и технология конструкционных материалов», предназначено для бакалавров обучающихся по направлениям подготовки 110800 – «Агроинженерия», 190600 – «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» очной и заочной формы обучения, 051000 – «Профессиональное обучение» в качестве пособия к лабораторно-практическим занятиям и для самостоятельной работы.

© Агафонов С.В., Охотин М.В., 2014

© Издательство ИрГСХА, 2014

1 МАКРО- И МИКРОСКОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕТАЛЛОВ

Цель работы

Ознакомиться с методикой проведения микроскопического анализа металлических сплавов.

Задание

- 1 Ознакомиться с устройством и принципом работы металлографического микроскопа МИМ-7.
- 2 Овладеть основными навыками работы на нём.
- 3 Изучить методику приготовления микрошлифа.

Приборы и материалы

Металлографический микроскоп МИМ-7, его оптическая схема, образцы для микроанализа, комплект шлифовальных шкур различных номеров зернистости, толстые стёкла, полировальный станок, полировальная жидкость, реактив для травления, спирт, фильтровальная бумага.

Отчетность

- 1 Кратко описать сущность микроанализа. Дать определения понятий макро- и микроструктура.
- 2 Описать основные части металлографического микроскопа и их назначение.
- 3 Составить таблицу увеличений микроскопа МИМ-7 для каждого объектива.
- 4 Кратко описать методику приготовления микрошлифа.

2 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В материаловедении используют разнообразные методы исследования и испытаний, необходимые для достаточно полной и надёжной информации о свойствах металлов и их сплавов, об изменении их в зависимости от химического состава, структуры и обработки. Важнейшие из них – методы макроскопического (макроанализ), микроскопического (микроанализ) и рентгеновского анализа.

Макроскопический анализ заключается в определении строения металла (макростроение) невооруженным глазом или через лупу при небольших увеличениях (до 30 раз). В этом случае можно одновременно наблюдать большую поверхность заготовки (детали), что часто позволяет судить о качестве металла и определять условия предшествующей обработки, влияющие на сплошность металла и особенности его строения, затвердевания, а также характер и качество обработки, применявшейся для придания детали окончательной формы и свойств (литье, обработка давлением, сварка, резание).

Макроанализ не позволяет определить все особенности строения металла. Поэтому часто макроанализ является не окончательным, а лишь предварительным видом исследования. По данным макроанализа можно выбрать те участки изучаемой детали, которые надо подвергнуть дальнейшему более подробному микроскопическому исследованию.

Микроскопический анализ заключается в исследовании структуры металлов при больших увеличениях с помощью микроскопа. Наблюдаемая структура называется микроструктурой.

В зависимости от требуемого увеличения для чёткого наблюдения всех присутствующих фаз, их количества, формы и распределения, т. е. структуры в целом, в микроскопах используют:

- белый свет и обычные оптические системы, меняющиеся комбинацией стеклянных линз и призм (оптическая микроскопия);
- электронные лучи или, точнее, поток электронов для создания оптических систем, для которых необходимо применять электромагнитные или электростатические линзы (электронная микроскопия).

3 ОПТИЧЕСКАЯ МИКРОСКОПИЯ

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

При помощи микроанализа определяют:

- форму и размер кристаллических зерен, из которых состоит металл или сплав;
- изменение внутреннего строения сплава, происходящее под влиянием различных режимов термической и химико-термической обработки, а также после внешнего механического воздействия на сплав;
- микропороки металла: микротрещины, раковины и т. п.;
- неметаллические включения: сульфиды, окислы и др.

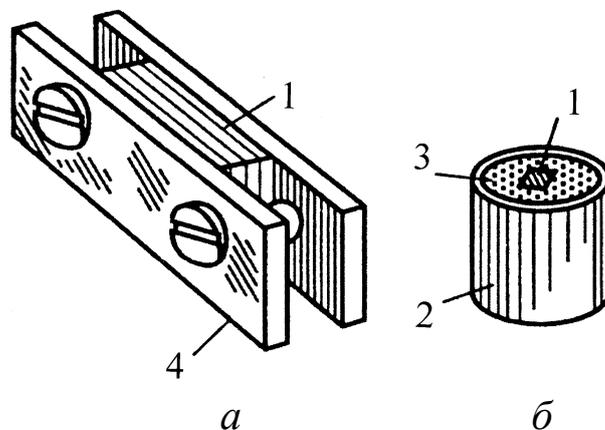
Микроскопический анализ включает приготовление микрошлифов и исследование их с помощью металлографического микроскопа.

Методики приготовления микрошлифов

Микрошлифом называется образец металла, поверхность которого подготовлена для микроанализа.

В зависимости от цели исследования и формы исследуемой детали выбирают место вырезки образца. На вырезанном образце выравнивают поверхность, которая предназначена для микроанализа. Если исследуемый металл мягкий, выбранную поверхность превращают в плоскость опиловкой напильником, если более твёрдый – заточкой на абразивном круге.

При изготовлении микрошлифов образцы малых размеров крепят при помощи струбцин (рисунок 1 *а*) или устанавливают в оправку (рисунок 1 *б*), заливая расплавленной серой или пластмассами, или специальными легкоплавкими сплавами (например сплавом Вуда – 50 %Bi, 25 %Pb, 12,5 %Sn и 12,5 %Cd с температурой плавления 70 °С).



1 – образец; 2 – оправка; 3 – сера или легкоплавкий сплав;
4 – струбцина

Рисунок 1 – Приспособления для монтирования образцов:

а – крепление образцов при помощи струбцин;
б – крепление в оправке

Для этого на металлическую или керамическую плитку устанавливают оправку (из стали или латуни) и внутрь помещают образец таким образом, чтобы подготавливаемая поверхность примыкала к пластине, затем жидкую легкоплавкую массу заливают в оправку.

Применяют также запрессовку шлифа в полистирол, бакелит и т. д. Образец помещают в прессформу, засыпают указанные вещества и прессуют при нагреве, обеспечивающем полимеризацию.

Полученную плоскую поверхность образца шлифуют на шлифовальной шкурке (наждачной бумаге) с зернами различных размеров (номеров), помещённой на плоском основании (на стекле), а в ряде случаев закреплённой зажимными кольцами или наклеенной на вращающемся круге.

Шлифование начинают на шкурке с более крупным абразивным зерном, постепенно переходят на шкурку с более мелким абразивным зерном. При шлифовании вручную образец прижимают рукой к шлифовальной шкурке и водят им по шкурке в направлении, *перпендикулярном к рискам*, полученным после опилования напильником. Шлифуют до полного исчезновения рисок, после этого поверхность образца протирают ватой (или промывают), поворачивают на 90° и шлифуют на шкурке с более мелким абразивным зерном, до полного исчезновения рисок, полученных от предыдущего шлифования и т. д.

Можно шлифовать также специальными пастами, нанесёнными на небольшие листы чертежной бумаги.

Механическое шлифование осуществляется на специальных машинах, имеющих несколько кругов диаметром 200–250 мм, приводимых во вращение от электродвигателя.

После окончания шлифования на шлифовальной шкурке самой мелкой зернистости производят **полирование** с целью полного удаления следов рисок. Полировать можно механическим и электролитическим способами.

Механическое полирование производят на специальном полировальном станке с кругом диаметром 200–250 мм, обтянутым сукном или фетром. Частота вращения круга от электродвигателя – 700–800 об/мин. Сукно смачивают полировальной жидкостью.

В состав полировальной жидкости входят взвешенные в воде мелкие порошки: окись алюминия (глинозем), окись хрома (крокус) и окись магния (магнезия). Чаще для полирования применяют окись хрома и окись алюминия в следующей пропорции: на 1 л воды 10–15 г окиси хрома или 5 г окиси алюминия.

После полирования образец промывают водой, поверхность протирают ватой, смоченной спиртом, а затем просушивают прикладыванием фильтровальной бумаги. Чтобы предохранить полированную поверхность от окисления, образцы хранят в эксикаторе с хлористым кальцием.

Травление. По зеркальной поверхности образца нельзя судить о строении сплава. Только неметаллические включения (сульфиды, оксиды, графит в чугунах) резко выделяются на светлом фоне полированного микрошлифа. Поэтому полированную поверхность подвергают травлению, т. е. действию растворов кислот, щелочей, солей.

Метод травления основан на различии физико-химических свойств отдельных фаз и пограничных участков зерен. В результате различий интенсивности растворения создается рельеф поверхности шлифа. Если освещать шлиф падающим светом, то из-за присутствия косых лучей образуются теневые картины, по которым можно судить о структуре сплава.

Для травления различных сплавов используется большое количество реактивов. Так, при травлении углеродистых сталей, чугунов, азотированной, цементованной и нитроцементованной стали, наибольшее распространение получил 4 %-ный раствор азотной кислоты в спирте (реактив Ржешотарского). Реактив окрашивает перлит в темный цвет, выявляет границы феррита, структуру мартенсита и продуктов отпуска.

Для травления микрошлиф погружают полированной поверхностью в раствор выбранного состава (травитель) и через некоторое время (продолжительность травления зависит от состава изучаемо-

го сплава, состава раствора и легко устанавливается экспериментально) вынимают. Если полированная поверхность станет слегка матовой, травление считается законченным и шлиф сразу же промывают водой, затем спиртом и высушивают фильтровальной бумагой.

Шлифы можно травить электролитическим методом. При этом анодом является микрошлиф, а катодом – пластинка нержавеющей стали (или свинца), режее – угольный стержень.

Реактивы для электролитического, травления, назначение и особенности их применения определяются по справочным данным. Например, для травления углеродистой стали рекомендуется использовать хлорное железо (0,5 %), соляную кислоту (плотность 1,19 г/см³), 1 % метиловый спирт 98,5 %. Плотность тока 0,5 А/см².

2 Характеристика конструкций металлографических микроскопов

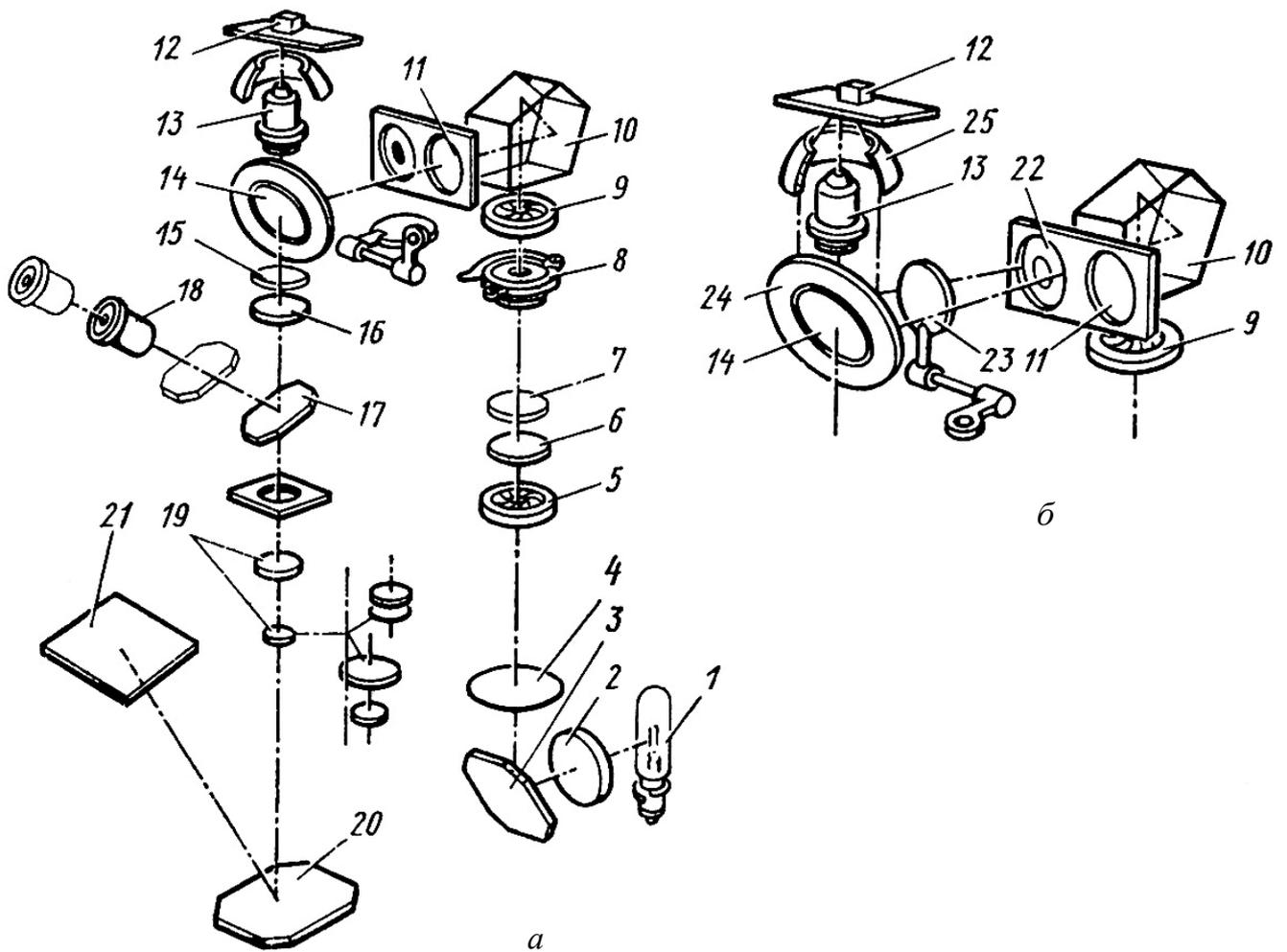
Исследование микроструктуры методом оптической микроскопии, впервые предложенное Павлом Петровичем Аносовым в 1881 г., широко используется для изучения строения металлов и для технического контроля их качества в промышленности.

Металлографический микроскоп позволяет рассматривать при увеличении непрозрачные тела в отраженном свете.

В этом основное отличие металлографического микроскопа от биологического, в котором рассматривают прозрачные тела в проходящем свете.

Любой металлографический микроскоп состоит из оптической системы, осветительной системы с фотографической аппаратурой и механической системы.

Оптическая система включает объектив, окуляр и ряд вспомогательных оптических элементов: зеркала, призмы и т. п. (рисунок 2).



1 – осветитель (лампа); 2 – коллектор; 3, 20, 24 – зеркало; 4 – светофильтр; 5 – апертурная диафрагма; 6 – линза; 7 – поляризатор; 8 – фотозатвор; 9 – полевая диафрагма; 10 – пентапризма; 11, 22 – линза; 12 – микрошлиф; 13 – объектив; 14 – отражательная пластинка; 15 – вкладной анализатор; 16 – ахроматическая линза; 17 – зеркало; 18 – окуляр; 19 – фотоокуляр; 21 – матовое стекло; 23 – диафрагма; 25 – параболическое зеркало

Рисунок 2 – Оптическая схема микроскопа МИМ-7:

a – при работе в светлом поле; *б* – при работе в тёмном поле

Для выделения отдельных мелких рельефных частиц на гладком поле (например, при исследовании неметаллических включений) целесообразно применять тёмнопольное освещение.

Объектив даёт действительное увеличенное обратное изображение шлифа и представляет сложное сочетание линз, располагающихся в одной общей оправке и находящихся в непосредственной близости к шлифу.

Окуляры – система линз, расположенных около глаза исследователя. Увеличение окуляра меньше, чем объектива, и подбирается таким образом, чтобы можно было достаточно четко рассмотреть изображение, создаваемое объективом. Окуляры увеличивают от 2 до 25 раз, тогда как увеличение объективом часто бывает от 9 до 95 раз.

Общее увеличение, которое даёт микроскоп, принимают равным произведению увеличения окуляра и объектива.

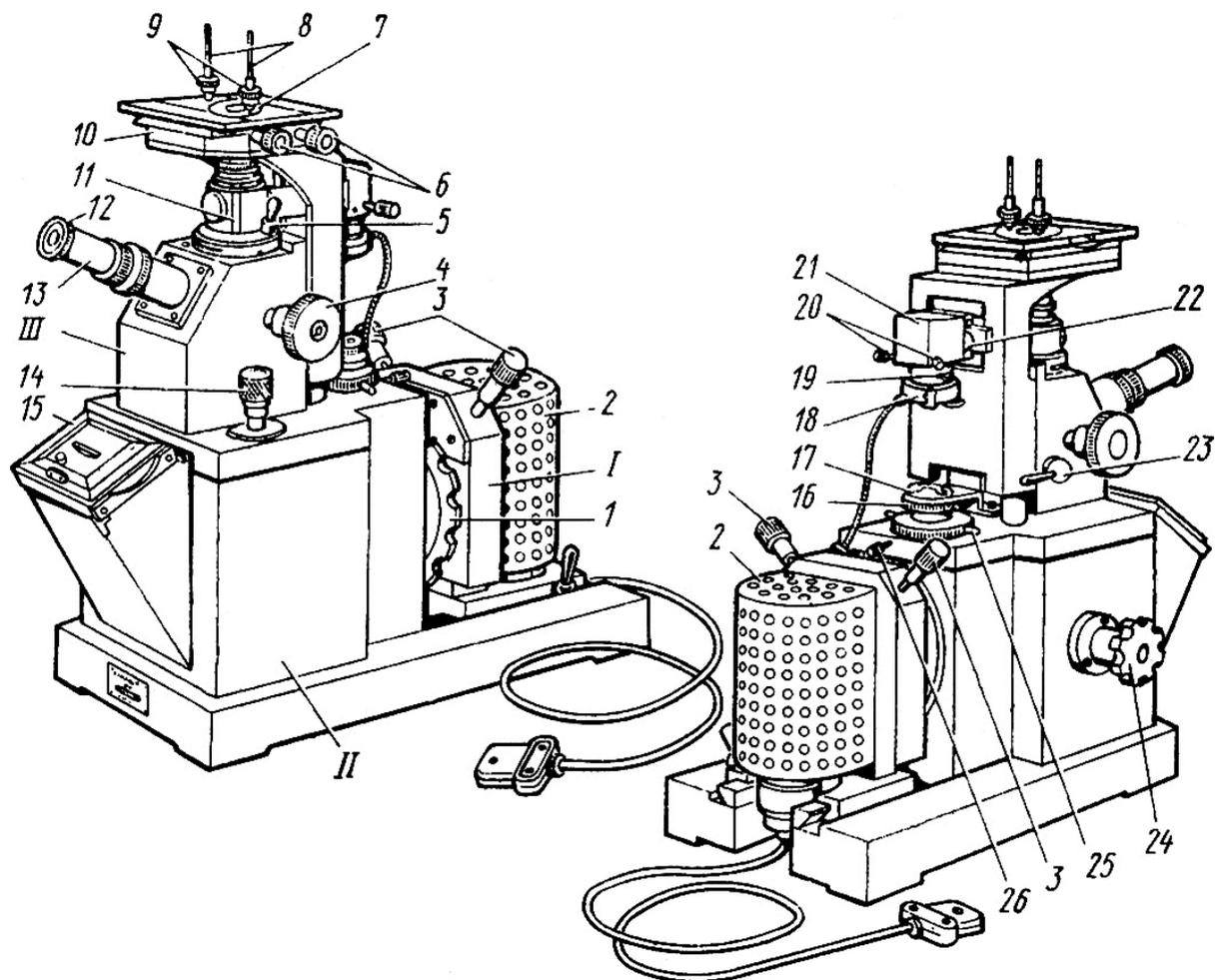
По устройству металлографические микроскопы различают на вертикальные МИМ-7 и горизонтальные МИМ-8, Неофот-32 и др.

Металлографический микроскоп МИМ-7

Микроскоп МИМ-7 (рисунок 3) состоит из трёх основных частей: осветителя, оптической системы, корпуса и верхней части.

Осветитель I имеет фонарь 2, внутри кожуха которого находится лампа.

В корпусе II микроскопа находится диск 1 с набором светофильтров; рукоятка 24 переключения фотоокуляров; посадочное устройство для рамки 15 с матовым стеклом или кассеты с фотопластинкой; узел апертурной диафрагмы, укрепленной под оправкой осветительной линзы 17; кольцо с накаткой 16, служащее для изменения диаметра диафрагмы; винт 26 для фиксации поворота апертурной диафрагмы.



1 – диск с набором светофильтров; 2 – фонарь; 3 – центровочные винты; 4 – микрометрический винт грубой наводки резкости; 5 – рукоятка; 6 – винты предметного столика; 7 – подкладка; 8 – вертикальные колонки; 9 – прижимы; 10 – предметный столик; 11 – иллюминаторный тубус; 12 – окуляр; 13 – визуальный (зрительный) тубус; 14 – микрометрический винт; 15 – посадочное устройство для рамки; 16 – кольцо; 17 – осветительная линза; 18 – фотозатвор; 19 – поводок; 20 – центрировочные винты; 21 – кожух; 22 – рамка с линзами; 23 – зажимной винт; 24 – рукоятка переключения фотоокуляров; 25, 26 – винт

Рисунок 3 – Металлографический микроскоп МИМ-7

Верхняя часть III микроскопа включает иллюминаторный тубус 11, в верхней части которого расположено посадочное отверстие под объектив; визуальный (зрительный) тубус 13, в отверстие которого вставляется окуляр; предметный столик 10, с находящимся на нём шлифом, при помощи винтов 6 может передвигаться в двух взаимно перпендикулярных направлениях; микрометрический винт 14, с помощью которого объектив перемещают в вертикальном направлении и точно наводят на фокус.

Увеличение микроскопа МИМ-7 зависит от наличия в комплекте соответствующих окуляров и объективов и выбирается по таблице 1.

Так как увеличение микроскопа – произведение увеличения окуляра на увеличение объектива, то, имея характеристику каждого объектива (см. таблицу 1, например, объектив $F=23,2$; $A=0,17$ – увеличивает в 8,6 раз и т. д.), путём комбинации с ним определённого окуляра (7^x ; 10^x ; 15^x ; 20^x) можно получить различное увеличение изучаемого объекта.

Таблица 1 – Увеличение микроскопа МИМ-7 при визуальном наблюдении

Характеристика объектива		Окуляры			
обозначение	увеличение x	7^x	10^x	15^x	20^x
$F=23,2$; $A=0,17$	$8,6^x$	60	90	130	170
$F=13,9$; $A=0,30$	$14,4^x$				
$F=8,2$; $A=0,37$	$24,5^x$				
$F=6,2$; $A=0,65$	$32,5^x$				

Так, используя объектив $F=23,2$; $A=0,17$, можно соответственно получить увеличения в 60, 90, 130 и 170 раз (цифры округляются). То же самое и с другими объективами.

Таким образом, микроскоп МИМ-7 позволяет получить 16 вариантов увеличений.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Бондаренко Г. Г. Материаловедение: учеб. для бакалавров / Г. Г. Бондаренко, Т. А. Кабанова, В. В. Рыбалко; под ред. Г. Г. Бондаренко. – 2-е изд. – М. : Изд-во «Юрайт», 2012. – 359 с.
- 2 Волков Г. М. Материаловедение: учеб. для студ. высш. учеб. заведений / Г. М. Волков, В. М. Зуев. – М. : Изд. центр «Академия», 2008. – 400 с.
- 3 Материаловедение / Б. Н. Арзамасов [и др.] ; под ред. Б. Н. Арзамасова, Г. Г. Мухина. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 646 с.
- 4 Практикум по материаловедению и технологии конструкционных материалов / В. А. Оськин [и др.] ; под ред. В. А. Оськина, В. Н. Байкаловой. – М. : КолосС, 2007. – 318 с.

Учебное издание

**Агафонов Сергей Викторович
Охотин Михаил Васильевич**

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ
КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**МАКРО- И МИКРОСКОПИЧЕСКИЙ
АНАЛИЗ МЕТАЛЛОВ**

Учебно-методическое пособие

Лицензия на издательскую деятельность
ЛР №070444 от 11.03.98 г.
Подписано в печать XX.XX.XX. Формат 60x84/16
Усл. печ. л. 0,9 Тираж 50

Издательство Иркутской государственной сельскохозяйственной академии
664038, Иркутская обл., Иркутский р-н, пос. Молодежный