

Содержание

Введение.....	3
1. Цель и задачи работы	5
2. Теоретическая часть.....	5
2.1. Геометрические типы структур.....	5
2.2. Металлографический микроскоп	7
2.3. Микроструктурный анализ.....	10
2.3.1.Определение содержания неметаллических включений	10
2.3.2. Определение размера зерен.....	10
2.3.3. Определение количественного соотношения фаз	12
2.4. Современные автоматизированные системы микро- структурного анализа.....	13
3. Практическая часть.....	14
3.1. Приборы и материалы.....	14
3.2. Задание и последовательность выполнения работы.....	14
3.3. Содержание отчета.....	14
4. Контрольные вопросы	15
Список литературы.....	17
Приложение 1. Методика приготовления шлифов	18
Приложение 2. Эталонная шкала для определения неметал- лических включений.....	25
Приложение 3. Параметры структуры.....	27
Приложение 4. Форма отчёта.....	28
Приложение 5. Тесты для самоконтроля.....	30

Введение

В материаловедении изучаются металлические и неметаллические материалы. Несмотря на всё более широкое использование неметаллических материалов, металлы сегодня остаются основным конструкционным и инструментальным материалом.

Материаловедение сегодня, это:

- новые уникальные методы, оборудование и информационные технологии для исследования состава, структуры и свойств материалов на разных масштабных уровнях вплоть до нано;
- новые материалы с высоким комплексом свойств и удовлетворяющие современные потребности промышленности;
- новые эффективные технологии получения высококачественных материалов и изделий.

Кроме этого, материаловедение – это очень интересная область науки и техники, в которой ученые работают над открытием новых еще не известных в металлах явлений и, которые в будущем будут определять создание и применение новых материалов в промышленности. При этом материаловеды используют различные методы исследования структуры металлов, которые делятся на два вида: методы для изучения тонкого внутреннего строения кристаллов (часто на атомном уровне) и методы для изучения внешних форм и определения размеров кристаллов. В данной работе рассматривается второй метод–метод микроструктурного анализа, который основан на изучении структуры металлов с помощью оптического микроскопа.

Для успешного выполнения работы студенты заблаговременно должны подготовиться. В процессе подготовки необходимо усвоить теоретический материал, относящийся к данной работе, знать ответы на тесты и контрольные вопросы, заполнить форму отчёта, приведённые в данном описании.

При выполнении работы у студента формируются профессиональные компетенции – способность использовать методы микроструктурного анализа для распознавания геометрического типа структур различных металлов и сплавов.

Выполнив лабораторную работу, студент должен:

- **знать** методы выявления:
 - формы и определения размера структурных составляющих

металлов и сплавов;

- фазового состава различных металлов после литья, деформации и термообработки;

- несплошностей металлов.

- **уметь** применять методы и оборудование для микроструктурного анализа.

- **иметь навыки** количественного микроструктурного анализа.

Отчёт о проделанной работе должен быть представлен к сдаче и защите в конце занятия. **Защита работы** производится в виде индивидуального собеседования с каждым студентом по теоретической и практической частям выполненной работы, а также по данным и результатам оформленного отчета. Ответы на поставленные вопросы студент дает в устной форме.

МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ МЕТАЛЛОВ

1. Цель и задачи работы

Цель лабораторной работы – получить знания, умения и навыки, необходимые для проведения микроструктурного анализа металлов.

Для достижения указанной цели в работе решаются следующие **задачи**:

- 1) научиться характеризовать, выделяя особенности микроструктуры металлов, типы их структур;
- 2) изучить устройство и назначение оптического микроскопа;
- 3) овладеть практическими навыками микроанализа.

2. Теоретическая часть

Механические и многие другие свойства металлических материалов тесно связаны с их структурой. Внутреннее строение металла, наблюдаемое с помощью оптических микроскопов, называют *микроструктурой*. Исследование структуры металлов и сплавов с использованием оптического микроскопа называется *микроструктурным анализом* (микроанализом). Он позволяет установить форму, размеры и взаимное расположение структурных составляющих в сплаве [1, С 66; 2, С.8]. *Структурными составляющими* называют участки микроструктуры, характеризующиеся средним химическим составом и однообразным строением.

Все сплавы в твердом состоянии могут состоять из следующих структурных составляющих: 1) кристаллов (зёрен) твердых растворов; 2) кристаллов химических соединений; 3) механической смеси кристаллов различных типов (кристаллов чистых компонентов, твердых растворов и химических соединений). Все они при рассмотрении в микроскоп выглядят однородными участками (светлыми, тёмными, пёстрыми и др.). Структурные составляющие могут состоять из одной, двух или более фаз.

Фаза – это однородная по химическому составу, строению, свойствам и агрегатному состоянию часть системы (сплава), которая

ограничена от других частей поверхностью раздела (границами), при переходе через которую химический состав или свойства изменяются скачком. Фазами могут быть чистые металлы, химические соединения, жидкие и твердые растворы. Следовательно, однородная жидкость является однофазной системой, механическая смесь двух видов кристаллов – двухфазной, химическое соединение – однофазной. В свою очередь фазы состоят из отдельных зёрен. *Зёрна* металлов – отдельные кристаллы, разделённые между собой смежными поверхностями раздела, называемыми границами зёрен.

Только зная фазовый состав и в целом структуру сплава, можно предсказать и объяснить его свойства.

2.1. Геометрические типы структур

В металлах встречается множество типов различных структур. В материаловедении из этого множества выбирают несколько основных типов, для которых можно установить характерные параметры структуры. Различают следующие основные типы структуры (рис. 1)¹. *Однофазную* зернистую структуру (рис. 1, а) образуют чистые металлы, а также сплавы типа твёрдых растворов и химических соединений. В металлах, содержащих только одну фазу, микроструктуры могут отличаться друг от друга лишь величиной зерна, его формой и ориентировкой.

Двух и многофазную структуру образуют сплавы, имеющие фазы с различным химсоставом (рис. 1, б). Микроструктуры многофазных материалов различаются ещё по относительному количеству и взаимному расположению двух или более присутствующих фаз.

Оболочковая структура возникает, когда одна из фаз образует сетку вокруг зёрен другой фазы (рис. 1, в).

Матричной называют *структуру*, в основной фазе (матрице) которой располагаются частицы одной или нескольких других фаз (рис. 1, г).

Ориентированная структура (рис. 1, д) – вытянутые зерна, полученные деформированием, направленной кристаллизацией и другими методами.

¹ Салтыков С. А. Стереометрическая металлография. – М.: Металлургия, 1976. – 270 с.

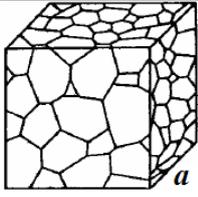
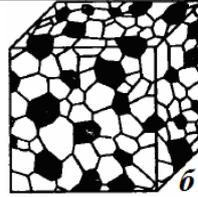
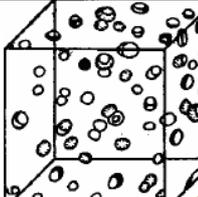
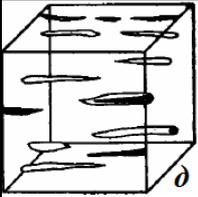
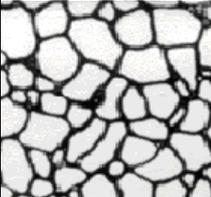
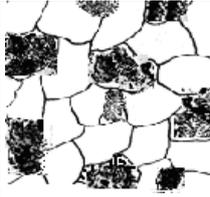
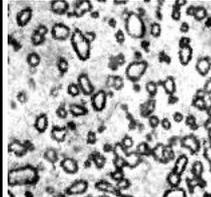
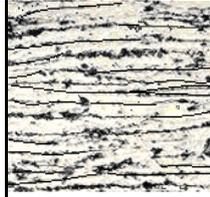
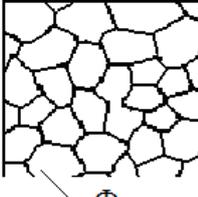
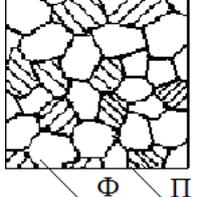
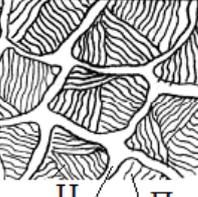
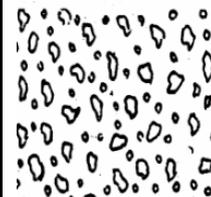
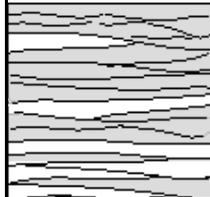
Типы структур по геометрическим признакам				
однофазная	многофазная	сетчатая (оболочковая)	матричная	ориентированная
Схемы объёмной микроструктуры				
				
Фотографии плоской микроструктуры				
				
Условная зарисовка микроструктуры				
				

Рис. 1. Типы структур сплавов и их условная зарисовка

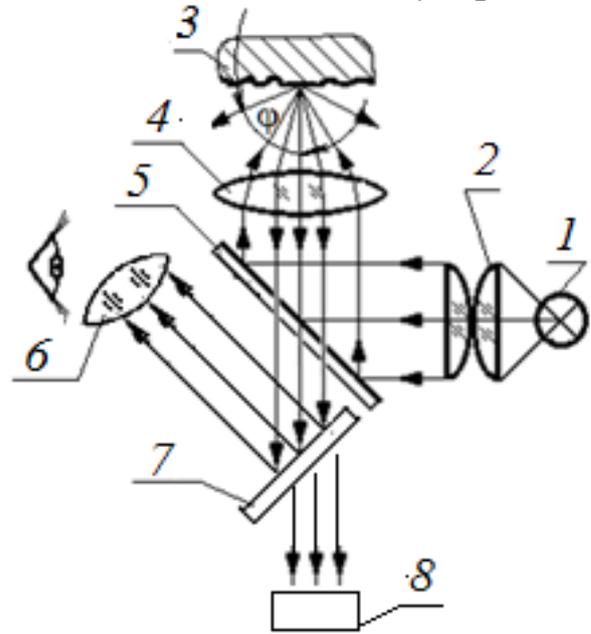
Микроструктурный метод информативен, надежен и прост, поэтому широко применяется в промышленности при: 1) разработке технологии литья,ковки, штамповки, сварки; 2) контроле качества заготовок и деталей машин; 3) установлении причин аварии деталей; 4) исследовании новых сплавов и новых методов обработки.

Микроструктурный анализ выполняется в следующей последовательности: приготовление шлифов, выявление структуры травлением шлифов, изучение структуры под микроскопом. Методика приготовления шлифов приведена в **прил. 1**.

При проведении микроструктурного анализа следует учитывать, что под микроскопом изучается разрез определенного участка металла, являющимся подготовленной плоскостью шлифа. Поэтому видимые под микроскопом плоские зерна имеют в действительности объёмную форму, а сетка вокруг кристаллов в плоскости шлифа, если таковая существует и видна, в действительности является сечением оболочки.

2.2. Металлографический микроскоп

Общий вид металлографического микроскопа представлен на рис. 2. Основными характеристиками микроскопа являются его разрешающая способность и увеличение. Они обеспечиваются оптической системой микроскопа, состоящей из объектива и окуляра.



a

б



в (см. поз. 13)

Рис. 2. Микроскоп Olympus GX-41: *a* – общий вид: 1–основание; 2–регулятор освещения; 4– штатив; 5 – бинокулярная насадка; 6– видеокамера; 7 – предметный столик; 8 – осветитель; 9 – штурвалы перемещения стола; 10,11 – рукоятки точной и грубой фокусировки;

12– выключатель; 13 – револьверный держатель объективов;

б – оптическая система: 1– источник света; 2–конденсор²; 3 –объект; 4 –объектив; 5 – полупрозрачное зеркало; 6– окуляр; 7– призма; 8 – видеокамера; *в* – револьверный держатель объективов

Объектив даёт увеличенное промежуточное изображение структуры, которое затем рассматривается в окуляре, как в лупу. Окуляр увеличивает изображение, сформированное объективом, но не может увеличить разрешающую способность микроскопа.

² Конденсор – система линз для равномерного освещения поля изображения

Разрешающая способность характеризуется минимальным расстоянием между двумя соседними частицами структуры, при котором они еще видны раздельно. Разрешающая способность человеческого глаза d_1 ограничивается расстоянием в 0,2...0,3 мм (200...300) мкм. Для оптической системы микроскопа она определяется условиями дифракции лучей по уравнению

$$d = \frac{\lambda}{2 \cdot n \sin \varphi} = \frac{\lambda}{2A}, \quad (1)$$

где λ – длина волны видимого света (0,55 мкм);

n – коэффициент преломления среды, находящейся между объективом и окуляром (для воздушной среды $n = 1$);

φ – угловая апертура, равная половине угла раскрытия входящего в объектив светового пучка лучей, дающих изображение (принимается 70° , тогда $\sin 70^\circ = 0,94$).

В формуле (1) знаменатель $A = n \sin \varphi = 0,94$ – числовая апертура объектива, которая указывается на его оправе. Один из объективов микроскопа GX-41 имеет числовую апертуру $A = 0,95$. Для микроскопа с таким объективом разрешающая способность согласно формуле (1) будет равна $d = 0,290$ мкм (≈ 290 нм).

Максимальное полезное увеличение определяется по формуле

$$П_{\text{М}} = \frac{d_1}{d}. \quad (2)$$

Тогда **полезное увеличение** микроскопа Olympus GX-41 согласно формуле (2) в воздушной среде составит

$$П_{\text{М}} = \frac{300}{0,290} \approx 1000 \text{ раз.}$$

Кроме полезного увеличения различают ещё *общее увеличение* микроскопа $П_{\text{об}}$. Оно определяется как произведение увеличений объектива $п_{\text{об}}$ и окуляра $п_{\text{ок}}$: $П_{\text{об}} = п_{\text{об}} \times п_{\text{ок}}$.

Казалось бы, комбинируя увеличениями окуляра и объективов можно получить любые увеличения микроскопа. Однако, на самом деле, световой микроскоп, как оптический прибор, имеет предел своих возможностей. Это связано с тем, что при выходе за пределы полезного увеличения возникают дифракция и другие явления, обусловленные волновой природой света. Они приводят к оптическим ошибкам при использовании столь больших «бесполезных» увеличений. *Бесполезные* увеличения – это такие большие увеличения микроскопа, при которых теряется резкость изображения.

Для достижения четкого изображения объекта необходимо, чтобы общее увеличение оптической системы не превосходило ее полезное увеличение.

Работа на микроскопе Olimpus GX-41. Для получения изображения необходимо установить изучаемый шлиф на предметный стол микроскопа 7 полированной поверхностью в сторону объектива (см. рис. 2, а). Включить микроскоп выключателем 12 (положение «ON»). Посмотреть в окуляр микроскопа 5 и, вращая рукоятку грубой настройки резкости микроскопа 11, приблизить объектив к шлифу до появления изображения. Затем необходимо настроить микроскоп «на резкость», добиваясь, вращением рукоятки тонкой настройки 10, чёткого изображения деталей структуры. Шлиф с предметным столиком можно передвигать в двух взаимно перпендикулярных горизонтальных плоскостях с помощью штурвалов 9, что позволяет просматривать микроструктуру в различных участках шлифа.

Используемые объективы: 5х, 10х, 20х, 50х, 100х. В револьверный держатель 13 одновременно устанавливается до 4 объективов. Микроскоп снабжён одним окуляром х 10, обеспечивающим необходимую резкость изображения при общих увеличениях: х 50; х 100; х 200; х 500; х 1000.

2.3. Основные задачи микроструктурного анализа, количественный микроструктурный анализ

При изучении микрошлифов решаются следующие задачи:

- определение загрязнённости металлов неметаллическими включениями;
- установление несплошностей металла в виде микропористости, микротрещин, раковин и т. д.
- анализ формы (вытянутость, равноосность, разнотельность) и определение величины зерна;
- выявление фазового состава и других структурных составляющих металлов в литом и деформированном состояниях, после различных видов термической и химико-термической обработки;

2.3.1. Определение содержания неметаллических включений. Определение наличия неметаллических включений типа оксидов, нитридов и др. и характера их распределения производится на нетравлёных шлифах. При этом осуществляется визуальное сравне-

ние поверхности шлифа с неметаллическими включениями при увеличении в 100 раз со специально разработанными эталонными шкалами включений. Эталонные шкалы для нитридов и окислов приведены в **прил. 2**.

2.3.2. Определение размера зёрен. Величина зерна является важнейшей характеристикой металла, определяющей его механические, технологические и другие свойства. Условно под размером зерна принято понимать величину его среднего диаметра, выявляемого в поперечном сечении [2, С. 35]. Существуют различные способы определения величины зерна для сталей. Они регламентированы ГОСТ 5639-82.

Наиболее простым является **экспресс-метод визуального сравнения изображения структуры с эталонными шкалами**. На эталонных шкалах приведена микроструктура с различной величиной зерна, оцениваемой номерами от -3 до +14. Основным диапазоном микроструктур являются зёрна с номерами от 1 до 10 (**прил. 3**) при увеличении $\times 100$.

Путём визуального сравнения наблюдаемой структуры при увеличении $\times 100$ с эталонными шкалами можно быстро установить приблизительный номер (балл) зерна, а затем и другие его характеристики.

Для более точного определения размеров зёрен используют метод подсчёта числа зёрен на единице площади шлифа (метод Джиффриса), метод случайных секущих и др.

Рассмотрим **метод подсчёта зёрен**. Данный метод заключается в подсчёте количества зерен на единице поверхности шлифа (1 мм^2) с дальнейшим определением средней площади зерна, номера зерна и среднего диаметра зерна. Подсчёт зёрен проводят на матовом стекле камеры микроскопа или на микрофотографиях. На микрофотографиях микроструктуры, выполненных при увеличении $\times 100$, выбирают площадь в виде круга диаметром 79,8 мм или прямоугольника с размерами сторон $50 \times 100 \text{ мм}$, что соответствует $0,5 \text{ мм}^2$ площади шлифа. Далее, нужно подсчитать среднее число зёрен n в пределах заданной измеряемой площади шлифа под микроскопом или на фотоснимке структуры (рис. 3).

Если микроструктура представлена на фотоснимке, то линейкой измеряются размеры её сторон в см, вычисляется $F (\text{см}^2)$ и, помножив на 10^8 , переводится в мкм^2 .

Число зёрен определяется как сумма целых зёрен p , полностью попавших в пределы заданной измеряемой площади и числа зёрен, пересекаемых границами измеряемой площади (краями фотографии) $0,5 q$.

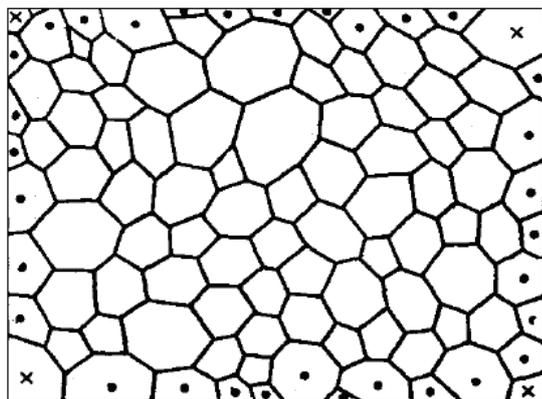


Рис. 3. Схема подсчёта количества зёрен: точками обозначены зерна, пересечённые краями фотографии; крестиком – зёрна, пересечённые двумя краями фотографии

Также суммируются зерна, находящиеся в углах измеряемой площади (для квадратной и прямоугольной площади равно 4), пересечённых с двух сторон (четвертинки зёрен), оказавшиеся по углам ($0,25 \times 4$):

$$n = p + 0,5 q + 0,25 \cdot 4. \quad (4)$$

Затем можно определить среднюю площадь одного зерна по

формуле
$$S = \frac{F}{n X^2}, \quad (5)$$

где F - площадь поля зрения (фотографии);

X - рабочее увеличение микроскопа (фотографии).

С другой стороны средняя площадь зерна натуральной площади шлифа в $0,5 \text{ мм}^2$ можно определить для однородной структуры по эмпирической формуле

$$S = 500 \cdot 2^{8-G}, \text{ мкм}^2, \quad (6)$$

где G – номер зерна, представленный в эталонной шкале стандарта 5639-82.

Преобразовав формулу (6) и подставив значение S , полученное из уравнения (5), можно рассчитать номер зерна исследуемой структуры

$$G = 8 - \frac{\lg S - \lg 500}{\lg 2}.$$

Зная номер зерна G можно установить численные характеристики зерен по данным **прил. 3**. Условно принято считать, что стали с зерном от первого до пятого номера относятся к крупнозернистым, с более высоким номером – к мелкозернистым (см. **прил.3**).

Для определения величины зерна в разномерной структуре используется метод измерения длин хорд-отрезков, отсекаемых в зернах прямыми линиями и др. (см. ГОСТ 5639-82), которые не рассматриваются в данной работе.

2.3.3. Определение количественного соотношения фаз. При микроструктурном анализе для определения объемных долей структурных составляющих или фаз чаще используется метод точек А. А. Глаголева. Вместо точек часто используются пересечения горизонтальных и вертикальных линий, которые образуют сетку. Такая сетка накладывается на исследуемую структуру. Затем подсчитывается число точек, лежащих в сечении микрочастиц исследуемой фазы (рис. 4). Объемная доля β -фазы определяется как

$$V_{\beta} = (m_i/z)100 \%,$$

где m_i – число точек, попавших на частицы β -фазы;

z – общее число точек в сетке над структурой.

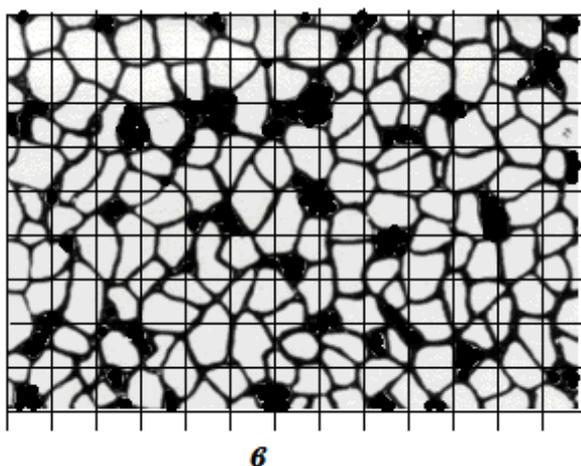
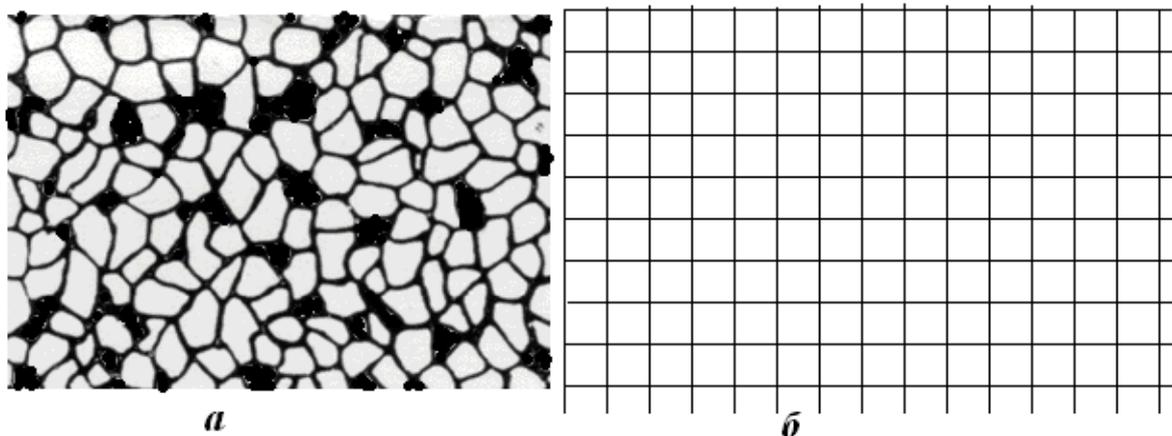


Рис. 4. Схема определения процентного соотношения фаз методом точек Глаголева:

a – микроструктура двухфазная;

b – сетка с точками (пересечения линий);

$в$ – схема подсчёта количества точек, попавших на фазу

Увеличение нужно выбирать таким образом, чтобы исследуемые структурные составляющие были достаточно большими для точного определения попала ли точка в сечение фазы или нет. Расстояние между точками в сетке должно быть таким, чтобы не

больше одной точки попало в сечение исследуемой микрочастицы.

2.4. Современные автоматизированные системы микро-структурного анализа

Сегодня в связи с развитием компьютерных технологий и созданием быстрых и мощных цифровых анализаторов изображений (например, SLAMS®-400™, 500™) разработаны автоматизированные комплексы анализа структуры, соответствующие требованиям отечественных и зарубежных стандартов.

Автоматизированный металлографический комплекс на базе металлографического микроскопа «Olimpus GX-41» и программного обеспечения для анализа изображения «Thixomet Standard 3.0» (см. рис. на обложке). Микроскоп оснащен цифровой видеокамерой для вывода изображения на компьютер, а компьютерная программа обладает следующими возможностями:

- определение размера зерна по ГОСТ 21073.2, ГОСТ 5639, ASTM E1382-97, ASTM E112, DIN 50601;
- определение фазового состава металлов и сплавов;
- исследование больших площадей с помощью сшивки отдельных полей зрения;
- ручные измерения линейных размеров, площади, углов, радиуса кривизны, расстояния между произвольными кривыми;
- распознавание объектов по уровню серого, в том числе и объектов разных размеров с помощью двух диапазонов дискриминации.

3. Практическая часть

3.1. Приборы и материалы:

- автоматизированная компьютерная установка на базе оптического микроскопа «Olimpus GX – 41»;
- коллекция шлифов;
- наглядные пособия и справочные материалы (атлас типовых структур металлов).

3.2. Задания и последовательность выполнения работы

1. С помощью преподавателя или учебного мастера ознако-

миться в препараторской кафедры с устройством и принципом действия шлифовальной и полировальной машин для изготовления шлифов.

2. Изучить устройство металлографического микроскопа, определить расположение его основных узлов.

3. Определить на нетравленном шлифе с помощью стандартных шкал тип и балл неметаллических включений. Метод наблюдения может быть через окуляр микроскопа или проецированием на экран.

4. На протравленных шлифах однофазного и двухфазного сплавов изучить и схематично зарисовать микроструктуру.

5. По структуре однофазного сплава определить среднюю площадь сечения зерна, номер зерна. Затем сравнением полученного номера зерна с номером в таблице **прил. 3** установить средний диаметр зерна, мкм.

6. По микрофотографии структуры стали 20 точечным методом определить относительную объёмную долю структурных составляющих.

Критерии результативности работы

Лабораторная работа считается выполненной в том случае, если студент:

1) знает устройство шлифовальных и полировальных машин и владеет методикой приготовления шлифов;

2) приобрёл навыки проведения микроструктурного анализа на шлифах;

3) результаты выполненной работы представлены в соответствии с требованиями к составлению отчёта;

4) правильно ответил на все контрольные вопросы.

Требования к содержанию и оформлению отчёта

Отчёт составляется с использованием электронного варианта описания данной лабораторной работы путём переноса фрагментов текста и необходимых рисунков в текст отчёта и дальнейшим редактированием. Эта часть отчёта оформляется до занятий. На лабораторных занятиях отчёт оформляется окончательно внесением рукописью расчётов и зарисовкой изучаемых структур и написанием выводов. Отчёт должен иметь объём не более 3...4 – х страниц. Форма отчёта приведена **в прил. 4**.

Контрольные вопросы

1. Что называется структурой, структурной составляющей, фазой, микроструктурой металлических сплавов? Приведите примеры фаз, структурных составляющих.
 2. Что называется микроанализом и для чего он применяется?
 3. Что понимается под зерном в структуре металлов?
 4. Зависят ли свойства сплавов от их строения и размера зёрен?
 5. Как называется образец для структурных исследований и как он готовится?
 6. Какие максимальные увеличения можно достичь оптическими микроскопами?
 7. Какие абразивные материалы используются для шлифования и полирования металлов?
 8. Почему зёрна однофазных и многофазных металлов имеют различную травимость?
 9. Почему после травления выявляются границы зёрен?
 10. Что называется полезным и бесполезным увеличением микроскопа?
 11. Что называется общим увеличением микроскопа?
 12. Что такое разрешающая способность микроскопа?
 13. Какие типы структур по геометрическим признакам Вы знаете?
 14. Для чего служит объектив и окуляр в оптическом микроскопе?
 15. Что называется угловой и числовой апертурой?
 16. От чего зависит разрешающая способность оптического микроскопа?
 17. Как определить номер и размер зёрен в сплавах?
 18. Как вычислить объёмное соотношение фаз в структуре многофазных сплавов?
 19. Как определяется характер распределения неметаллических включений?
- Тесты для самоконтроля приведены в **прил. 5**.

Список литературы

1. Материаловедение: Учебник для вузов //Б. Н. Арзамасов, В. И. Макарова, Г. Г. Мухин и др.; Под общ. ред. Б. Н. Арзамасова, Г. Г. Мухина, Н. М. Рыжова. – 6-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 648 с.

2. Солнцев Ю. П., Пряхин Е. И. Материаловедение: Учебник для вузов /Под ред. Ю. П. Солнцева – 4-е изд., стереотип. – СПб. Химиздат, 2007. – 784 с.



Солнцев Юрий Порфирьевич.

Доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки и техники России. С 1974 г. заведующий кафедрой металлов и металловедения Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий. Автор свыше 250 печатных работ и 55 изобретений.

Солнцев Ю. П. является автором 6 монографий и 6 учебников для вузов: «Материаловедение и технология конструкционных материалов» (1988 и 1996 гг.), «Материаловедение» (1999, 2002 и 2004 гг.), «Специальные материалы в машиностроении» (2004г.). Ряд работ, в том числе 5 книг, переведены и изданы в США, Индии, Франции, Японии, Польше, Китае.

Методика приготовления шлифов

Процесс приготовления шлифов включает: вырезку образцов из материала, подлежащего исследованию; предварительное (подготовительное) шлифование поверхности, предназначенной для исследования, последующее полирование и травление.

Вырезка образцов. Из выбранного участка материала для изучения вырезается образец в виде кубика или цилиндра с площадью поперечного сечения приблизительно 1 см^2 и высотой 10...15 мм. Вырезка образцов из материалов с низкой твёрдостью производится на токарных станках или ножовкой. При изучении закалённых сталей и других твёрдых материалов резку образцов осуществляют анодно-механическим способом или бакелитовыми отрезными кругами с обильным охлаждением водой (рис.1П1).

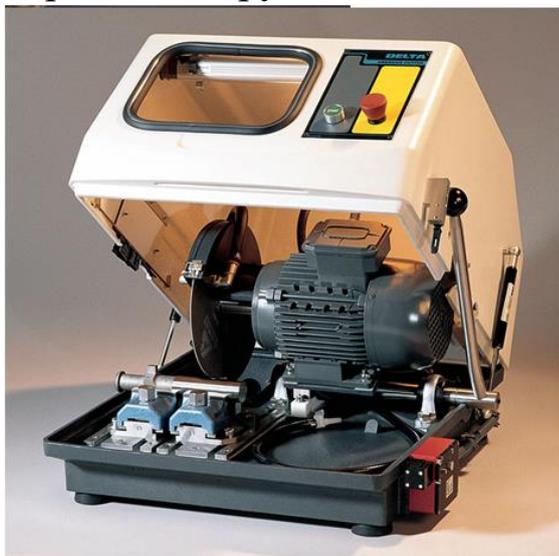


Рис. 1П1. Отрезной станок

Сторону образца, предназначенную для приготовления шлифа, после вырезки для создания ровной поверхности опиляют напильником или заторцовывают на заточных станках с помощью наждачного круга. При этом по краям следует снять фаску, чтобы при последующих операциях не порвать полировальное сукно.

Шлифование поверхности образца для приготовления шлифа. Подготовленную плоскость образца шлифуют вручную или на специальных станках (рис. 2П1) с использованием наждачной бумаги (шлифовальной шкурки) с разной величиной зерна абразива. Рекомендуемый прием шлифования и полирования шлифа на полировальной установке приведён на рис. 3П1.



Рис. 2П1. Шлифовально-полировальный станок:

- 1 – стол;
- 2 – шкурка или сукно;
- 3 – защитный кожух;
- 4 – круг (диск)



Рис. 3П1. Рекомендуемый прием шлифования и полирования шлифа на полировальной установке: 1 – стол полировальной установки; 2 – диск; 3 – шкурка или сукно; 4 – защитный кожух

Шлифование на наждачной бумаге производится с изменением направления движения образца на 90° методом последовательного перехода от бумаг с большим к бумагам с меньшим зерном. Шлифование начинают на грубых (крупнозернистых с абразивным зерном от 250 до 100 мкм) абразивных шкурках до полного удаления неровностей, наследованных от вырезки (рис. 4П1, *а*).

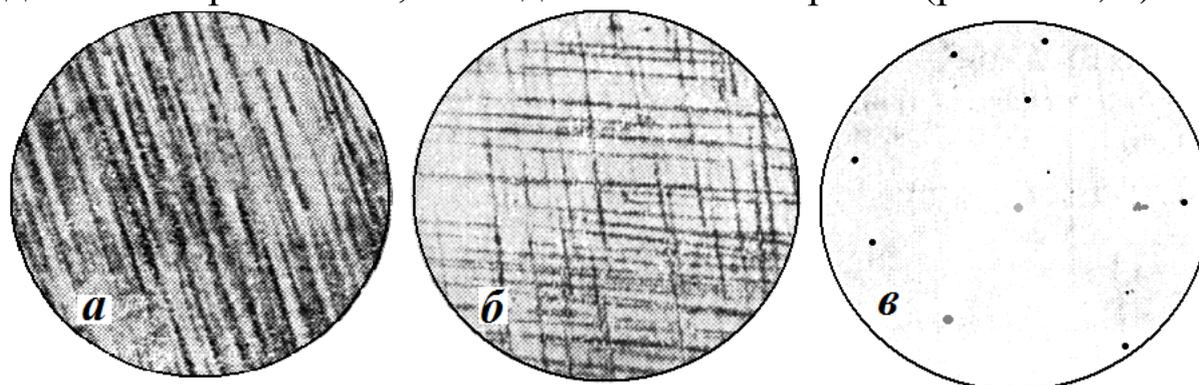


Рис. 4П1. Различная степень готовности микрошлифа:

а – отторцованная поверхность подготовлена на грубой шкурке к более тонкой шлифовке; *б* – требуется продолжение шлифовки на данном абразиве; *в* – состояние поверхности микрошлифа после полировки (видны неметаллические включения в виде тёмных точек).

Далее переходят к более мелкозернистым абразивным бумагам для уменьшения шероховатости поверхности и заканчивают шлифование на микронных бумагах (28...3,5 мкм). После поворота на 90°

следует шлифовать до полного выведения рисок, оставленных от предыдущей шлифовки (рис. 4П1, б). После шлифования на последней шкурке шлиф промывают в проточной воде, чтобы частички абразива не попали на полировальный круг.

Полирование микрошлифа производится для окончательного удаления рисок и других мелких дефектов поверхности (рис. 4П1, в). Наибольшее распространение в практике получил механический способ полирования на полировальном круге, обтянутом фетром или тонким сукном.

Абразивами для полировки служат окись алюминия (белого цвета), окись хрома (зеленого цвета) или другие окислы. Хорошее качество образцов получается при использовании пасты ГОИ, в состав которой входят оксид хрома, стеарин, керосин, олеиновая кислота и сода. Существует также широкий набор паст на основе порошков из синтетического алмаза и эльбора (нитрид бора) с различной зернистостью. Полирование на круге завершается получением зеркально гладкой поверхности без единой, даже незначительной, риски или царапины (рис. 4П1, в). Отполированная поверхность промывается проточной водой, затем спиртом и сушится фильтровальной бумагой.

Травление шлифов. Полированный шлиф металла в нетравленном виде имеет под микроскопом вид светлой поверхности, на которой можно увидеть, если они есть, поры, раковины, трещины и неметаллические включения. Однако, структуру металла на таком шлифе увидеть невозможно. Для её выявления осуществляют травление подготовленной поверхности шлифа специальными реактивами. Реактивы для травления (травитель) различных металлов и сплавов известны и некоторые из них приведены в табл. 1П1. Реактив выбирают таким образом, чтобы он обеспечивал избирательное растворение структурных составляющих. В результате при травлении на поверхности шлифа образуются выступы и впадины, соответствующие конфигурации отдельных структурных составляющих. При рассмотрении поверхности шлифа под микроскопом световые лучи от выступов и впадин отражаются различно. Те участки шлифа, которые сильно растравлены, кажутся под микроскопом более темными так как, чем сильнее растравлена поверхность, тем больше она рассеивает свет и меньше света отражает в объектив (рис. 5П1, а).

Таблица 1П1

Реактивы для выявления микроструктуры некоторых металлов и сплавов

Наименование реактива	Состав реактива (плотность)	Назначение и особенности применения
1	2	3
<i>Для травления углеродистых, низко- и среднелегированных сталей и чугуна</i>		
Спиртовой раствор азотной кислоты (реактив Ржешотарского)	Азотная кислота (1,42) 1...5 мл. Этиловый или метиловый спирт 100 мл	Реактивы окрашивают перлит в темный цвет, выявляют границы зерен феррита, структуру мартенсита и продуктов отпуска. Применяются также для выявления структуры азотированной и цементированной стали. С увеличением количества азотной кислоты возрастает скорость травления. Продолжительность травления — от нескольких секунд до минуты.
Спиртовый раствор пикриновой кислоты (реактив Ижевского)	Пикриновая кислота (кристаллическая) 4 г. Этиловый или метиловый спирт 100 мл	
<i>Для травления высоколегированных сталей</i>		
Раствор азотной и соляной кислот в глицерине	Азотная кислота (1,42) 10 мл. Соляная кислота (1,19) 20...30 мл. Глицерин 30 мл	Для выявления структуры высокохромистой, быстрорежущей и аустенитной марганцовистой стали в закаленном состоянии рекомендуется производить попеременное травление и полирование.
Царская водка	Соляная кислота (1,19) 3 части. Азотная кислота (1,48) 1 часть	Для выявления структуры нержавеющих сталей и сплавов. Перед употреблением реактив надо выдержать 20...30 ч.
Раствор щавелевой кислоты	Щавелевая кислота 10 г. Вода 100 мл	Для выявления карбидов и основной структуры аустенитной нержавеющей стали. Травление проводится электролитическим методом; анодом является шлиф, а катодом — пластинка нержавеющей стали. Напряжение 3...6 В.
<i>Для выявления карбидов, фосфидов, вольфрамовидов</i>		
Щелочной раствор пикрата натрия	Пикриновая кислота 2 г. Едкий натр 25 г. Вода 100 мл	Для выявления цементита, который окрашивается в темный цвет; карбиды хрома и вольфрама не окрашиваются. Реактив применяется в кипящем состоянии

Окончание табл. 1П1		
1	2	3
Щелочной раствор красной кровяной соли	Красная кровяная соль 10 г. Едкое кали 10 г. Вода 100 мл	Применяется в горячем состоянии для выявления хромистых карбидов, вольфрамовидов в быстрорежущей и других сталях. Этот же реактив выявляет фосфиды в фосфидной эвтектике. Фосфид окрашивается в темный цвет.
<i>Для выявления линий напряжений</i>		
Солянокислый раствор хлорной меди	Соляная кислота 40 мл. Хлорная медь 5 г. Вода 30 мл. Этиловый спирт 25 мл	Для выявления напряжений и дисперсионного твердения стали. Реактив применяется на холоде. Время травления — до 10 сек.
Ниталь: азотная кислота – 1...5 мл; этиловый (или метиловый) спирт – 100 мл	Химическое травление от нескольких секунд до 1...2 мин	Для травления железоуглеродистых сплавов (сталей и чугунов).
Хлорное железо – 5 г; соляная кислота – 10 мл; вода – 85 мл	Химическое травление в течение 3...10 с	Для выявления микроструктуры медных сплавов.
5...20 % раствор NaOH в воде или в метиловом спирте	Химическое травление	Для выявления микроструктуры алюминия и его сплавов.

Световой поток, направленный через объектив на микрошлиф, отражается различно от разных зерен. Те участки шлифа, которые сильно растравлены, кажутся под микроскопом более темными т. к., чем сильнее растравлена поверхность, тем больше она рассеивает свет и меньше света отражает в объектив (рис. 5П1, а).

В однофазном металле (сплаве) зерна имеют различную кристаллографическую ориентировку, и поэтому в поверхности микрошлифа зерна будут срезаны по разным кристаллографическим плоскостям, которые будут травиться неодинаково (рис. 5П1, б). В результате после травления одни зёрна окажутся под микроскопом светлыми, а другие более тёмными, хотя структура и является однофазной.

В многофазных сплавах степень травимости будет еще более различной. Для них наиболее часто применяется метод избирательного растворения фаз. Он основан на различии физико-химических свойств отделенных фаз и пограничных участков зерен. В результате различной интенсивности растворения фаз создается на них различный рельеф, по которым идентифицируются фазы (рис. 5П1, в).

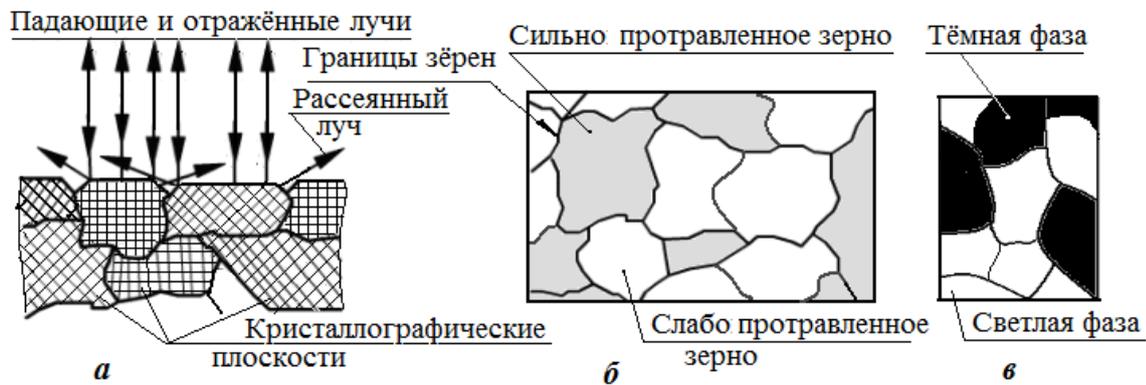


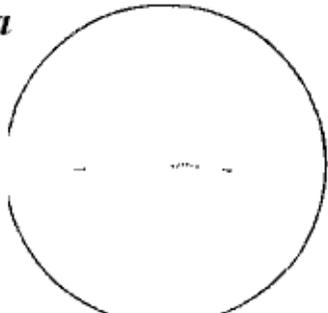
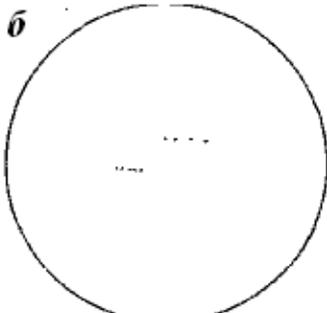
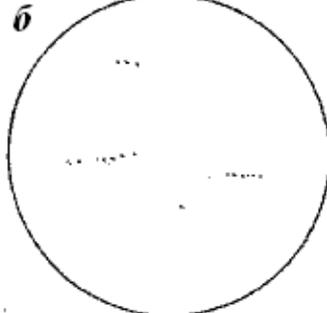
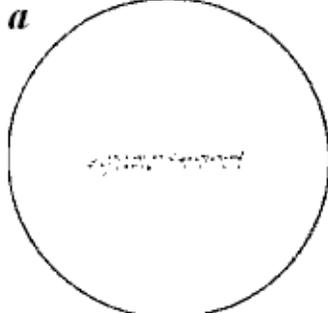
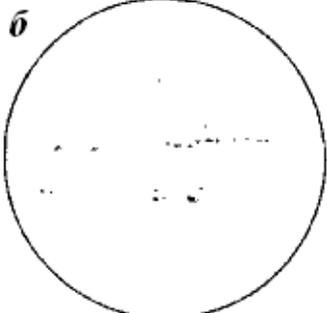
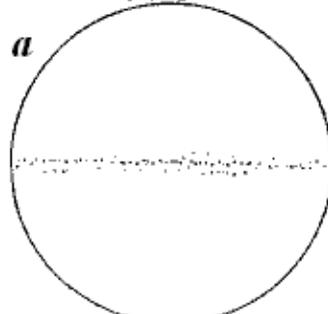
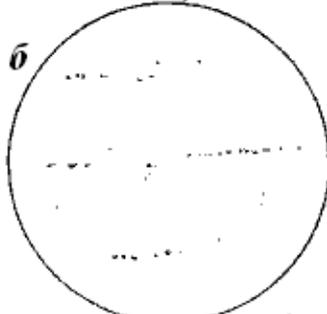
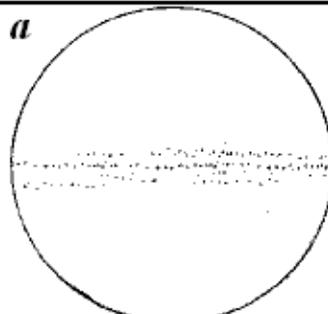
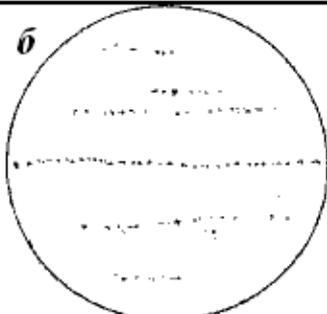
Рис. 5П1. Схема образования рельефа при травлении сплава с двумя структурными составляющими: *а* - схема отражения лучей от плоскости зерен и их границ; *б* - структура однофазного сплава (перетравление); *в* - структура двухфазного сплава

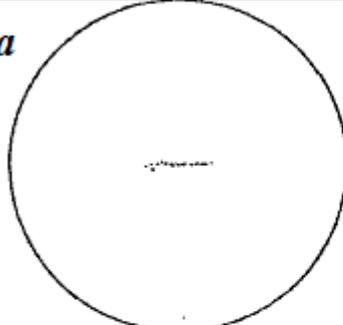
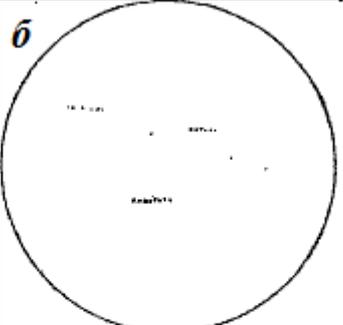
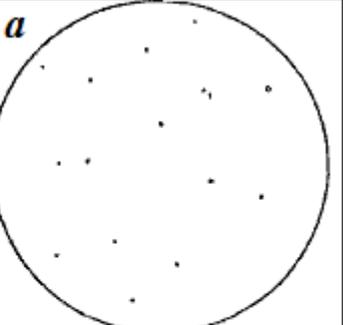
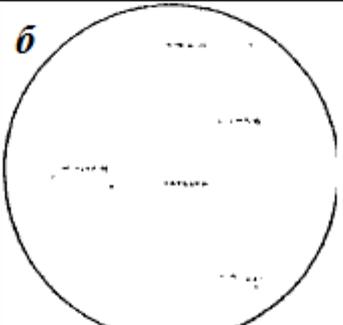
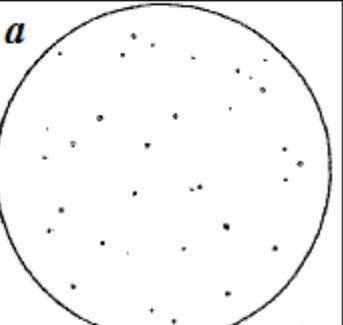
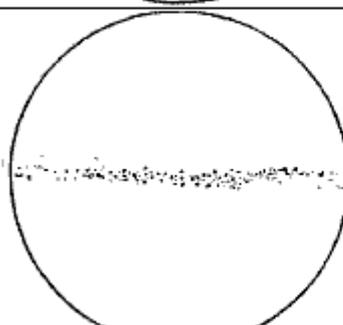
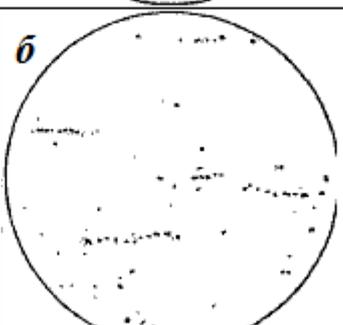
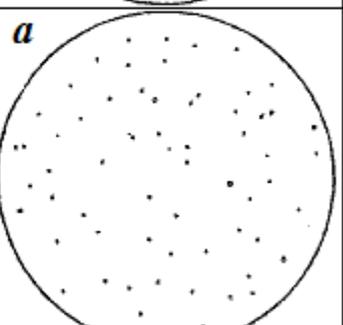
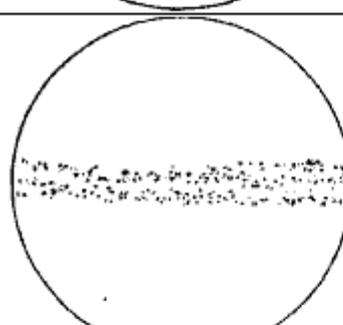
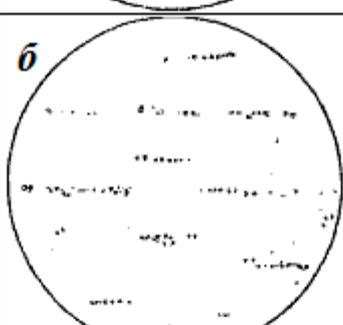
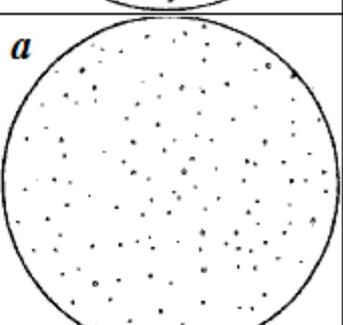
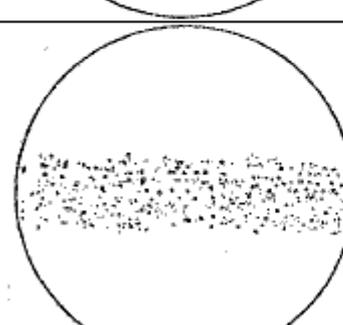
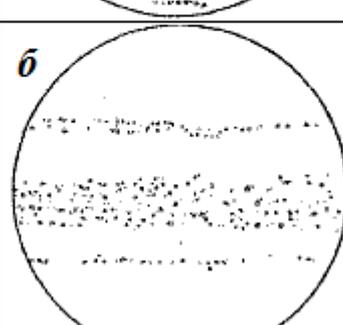
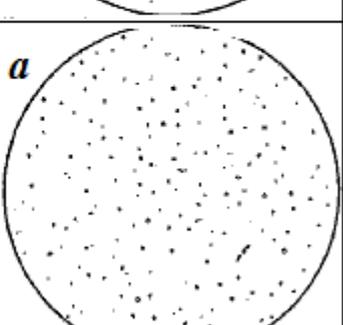
Границы зерен растравливаются сильнее. Это связано с тем, что по границам зерен сосредотачиваются многие примеси, имеющиеся в металле или сплаве. Кроме того границы зерен – это дефект кристалла, где атомы более активны и легче растворяются. На участках стыков зерен возникает значительное рассеяние, и отраженные лучи не попадают в поле зрения, поэтому по границам зерен возникают темные линии, которые и воспроизводят картину действительных стыков между зернами.

Внимание! Со шлифом необходимо обращаться аккуратно:

- не прикасаться к его поверхности пальцами;
- осторожно ставить и снимать с предметного столика микроскопа;
- не перемещать его поверхность относительно предметного столика.

Шкала неметаллических включений ГОСТ 1770 - 78

Баллы	Оксиды строчечные ОС	Оксиды точечные ОТ
1	<i>a</i> 	<i>б</i> 
2	<i>a</i> 	<i>б</i> 
3	<i>a</i> 	<i>б</i> 
4	<i>a</i> 	<i>б</i> 
5	<i>a</i> 	<i>б</i> 

		Баллы	Нитриды строчечные НС	Нитриды точечные НТ	
ГОСТ 1778 - 70	Шкала неметаллических включений	1	<i>a</i> 	<i>б</i> 	<i>a</i> 
		2	<i>a</i> 	<i>б</i> 	<i>a</i> 
		3	<i>a</i> 	<i>б</i> 	<i>a</i> 
		4	<i>a</i> 	<i>б</i> 	<i>a</i> 
		5	<i>a</i> 	<i>б</i> 	<i>a</i> 

Средние численные характеристики зерен для соответствующего номера зерна [ГОСТ 5639-82]³

Номер зерна, (G)	Средняя площадь сечения зерна, мкм ²	Среднее число зерен на площади 1 мм ²	Средний диаметр зерна, мкм
1	62500	16	250
2	31200	32	177
3	15600	64	125
4	7810	128	88
5	3900	256	62
6	1950	512	44
7	980	1024	31
8	490	2048	22
9	244	4096	15
10	122	8192	11

¹ Гост предусматривает эталонные структуры с номерами зёрен -3, -2, -1, 0, 1, 2...14. В таблице приведены номера зёрен основной десяти бальной эталонной шкалы

Пример.

Допустим площадь зерна, рассчитанная по формуле (5) составляет $S_{cp} \approx 1000$, мкм². Тогда формулу (6) можно представить в виде

$$1000 = 500 \cdot 2^{8-G}.$$

Приведём это выражение к единому знаменателю, поделив обе части уравнения на 500:

$$2^1 = 2^{8-G}, \text{ тогда } 1 = 8 - G \text{ и отсюда номер зерна } G = 7.$$

По прил. 3 для номера зерна ($G = 7$) средняя площадь зерна составляет $S = 980$ мкм², что примерно равна расчётному 1000 мкм².

По прил. 3 также можно установить средний диаметр зерна. Для номера $G = 7$ он составляет $d_{cp} = 31$ мкм.

Форма отчёта по лабораторной работе

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
УГАТУ
Кафедра Материаловедения и физики металлов

ОТЧЁТ

по работе №2

«Микроструктурный анализ металлов»

Выполнил (а) студент (ка) гр. _____ / _____ /

Проверил _____ / _____ /

Уфа 201____.

1. Цель и задачи работы:

2. Краткая теория

Задание на самостоятельную работу

Изучить:

- типовые структуры металлов и сплавов;
- устройство и принцип действия оптического микроскопа;
- методы микроструктурного анализа;

В отчёте указать:

- 1) основные определения структурных составляющих;
- 2) общий вид микроскопа и его оптическую схему;
- 3) схематические рисунки и описание микроструктуры технического железа до травления и после травления; схему микроструктуры стали 20. Микроструктуры зарисовать карандашом в квадрате размером 40x40 мм. На рисунках микроструктур указать все элементы структуры – неметаллические включения, отдельные структурные составляющие;
- 4) расчеты средней площади и среднего размера зерна и объемных долей структурных составляющих;
- 5) выводы по работе (оценить возможности микроструктурного анализа).

После оформления отчета студент защищает работу преподавателю путём ответа на контрольные вопросы.

Выводы по работе

Тесты для самоконтроля

Вопросы	Ответы
1	2
2.1. Микроструктурой является:	1) строение металла, видимое не вооруженным глазом; 2) строение металла, изучаемое с помощью микроскопа; 3) строение металла, изучаемое лупой; 4) все ответы правильные.
2.2. По геометрическому признаку различают типы структур:	1) одно –и многофазная; 2) оболочковая; 3) матричная и ориентированная; 4) все ответы правильные.
2.3. Шлиф – это:	1) вырезанный из исследуемого металла кусок, одна поверхность которого подготовлена для изучения (под микроскопом); 2) часть исследуемого материала после шлифовки; 3) вырезанный из определённого участка кусок металла, одна грань которого шлифуется для задания плоскостности; 4) все ответы правильные.
2.4. Травление шлифов необходимо для:	1) выявления внутреннего строения металла; 2) обезжиривания поверхности шлифа; 3) удаления продуктов полировальных абразивных материалов; 4) окончательного удаления рисок.
2.5. Разрешающая способность микроскопа:	1) наименьший элемент структуры, видимый под микроскопом; 2) наименьшее расстояние между двумя точками, которые чётко видны отдельно; 3) расстояние между объективом и плоскостью шлифа; 4) расстояние между окуляром и глазом наблюдателя.
2.6. Различают следующие увеличения микроскопа:	1) общее; 2) полезное; 3) бесполезное; 4) все ответы правильные.

Продолжение прил. 5	
1	2
2.7. Общее увеличение микроскопа	1) $\Pi_M = A_{об}$ (500... 1000); 2) $\Pi_M = d_1/d$; 3) $\Pi_{об.} = \Pi_{об} \times \Pi_{ок}$; 4) все ответы правильные.
2.8. Числовая апертура микроскопа:	1) $A = n \sin \alpha$; 2) $\Pi_M = d_1/d$; 3) $\Pi_{об.м} = \Pi_{об} \times \Pi_{ок}$; 4) все ответы правильные.
2.9. Полезное увеличение микроскопа:	1) $\Pi_M = A_{об}$ (500... 1000); 2) $\Pi_M = d_1/d$; 3) $\Pi_{об.м} = \Pi_{об} \times \Pi_{ок}$; 4) $A = n \sin \alpha$.
2.10. Объектив служит для:	1) увеличения изображения объекта; 2) увеличения элементов изображения с одновременным улучшением резкости; 3) улучшения разрешающей способности микроскопа; 4) выявления новых деталей структуры.
2.11. Окуляр служит для:	1) дополнительного увеличения промежуточного изображения объектива; 2) увеличения разрешающей способности микроскопа; 3) выявления новых деталей структуры; 4) все ответы правильные.
2.12. Неметаллические включения в сталях определяются:	1) визуальным сравнением структуры, выявленной под микроскопом при $\times 100$ с эталонными шкалами; 2) визуальным сравнением структуры исследуемого металла с баллом зернистости, установленный расчётным путём; 3) визуальным сравнением структуры исследуемого металла, установленной при произвольном увеличении с эталонными шкалами; 4) все ответы правильные.
2.13. Размер зерна определяется:	1) измерением длин хорд-отрезков, отсекаемых зёрна микроструктуры; 2) на глаз, сравнивая структуру исследуемого сплава с эталонами шкалы; 3) методом подсчёта зёрен на единице площади; 4) все ответы правильные.

2.14. Для получения чёткого изображения структуры необходимо:	1) чтобы общее увеличение микроскопа было меньше его полезного увеличения; 2) чтобы общее увеличение микроскопа превосходило его полезное увеличение; 3) чтобы общее увеличение микроскопа было равно его полезному увеличению; 4) все ответы правильные.
---	--



Павел Николаевич Власов – стал начальником Лётно-исследовательского института (ЛИИ) им М. М. Громова в январе 2010 года. Заслуженный лётчик-испытатель, Герой России, действующий лётчик-испытатель РСК "МиГ".

26.09.2001 П. Н. Власов выполнил первый подъём самолета МиГ-29М2 (прототипа МиГ-35).

17.08.2003 первым поднял в небо и затем провёл лётные испытания самолёта МиГ-29ОВТ с двигателями с отклоняемым вектором тяги.

27.06.2007 поднял в небо и проводил самолёта корабельного базирования нового поколения МиГ-29К.

Кроме того, он участвовал в испытаниях всех модификаций МиГ-АТ, МиГ-29, а также МиГ-31 и МиГ-35, разработанных одним из выдающихся конструкторов К. К. Васильченко.

За высокое лётное мастерство, мужество и отвагу, проявленные при испытаниях и доводке новой авиационной техники, Указом Президента Российской Федерации в 1996 году П. Н. Власов награжден орденом Мужества. В 1998 году за мужество и героизм, проявленные при испытаниях авиационной техники, П. Н. Власову присвоено звание Героя Российской Федерации. Почётное звание «Заслуженный летчик-испытатель РФ» Павел Николаевич получил в 2003.