МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра " **Материаловедение и технологии металлов** "

Методические рекомендации для выполнения

лабораторного практикума и контрольной работы

по дисциплине «Стереологический анализ»

**для студентов 3-го курса очной и заочной формы обучения**

**направления 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»**

**профиль подготовки «Материаловедение и технологии материалов в**

**приборостроении и медицинской технике»**

Составил:

доктор технических наук, профессор

кафедры «Материаловедение и технологии

металлов» Домбровский Ю.М.

г. Ростов-на-Дону, 2023

Методические рекомендации к контрольной работе

по дисциплине «Стереологический анализ»

для студентов заочной формы обучения направления

22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»

1. Вариант задания выбирается по последней цифре зачетной книжки. Если последняя цифра «0», то вариант №10. Изображения микроструктур с номерами варианта представлены в Приложении данных Методических рекомендаций. Номер варианта касается двух фотографий:

- однофазной микроструктуре технически чистого железа

- двухфазной графитизированного чугуна или доэвтектоидной стали. Например, для варианта №3 обе фотографии с этим номером предназначены для работы над контрольной работой.

2. Контрольная работа выполняется листах формата А4. Объем работы: 8 - 10 листов.

3. Ответы на вопросы контрольной работы необходимо иллюстрировать рисунками, поясняющими текст ответа.

4. Для выполнения контрольной работы необходимо тщательно изучить соответствующие разделы Учебного пособия по курсу «Стереологический анализ» расположенного на сайте: <http://skif.donstu.ru/> - Библиотека электронных ресурсов ДГТУ - факультет «Технология машиностроения» - кафедра «Материаловедение и технологии металлов» - очная и заочная форма обучения.

5. Номера страниц УП «Стереологический анализ», касающихся выполнения заданий контрольной работы, будут указаны в тексте заданий.

6. Успешная защита контрольной работы и выполнение лабораторного практикума дает студенту право на получение зачета «автоматом». При этом студенты должны продемонстрировать возможность ответа на дополнительные вопросы, не входящие в рамки основного вопроса.

Задания для контрольной работы

При выполнении задания, выбранную фотографию микроструктуры доэвтектоидной стали или чугуна необходимо скопировать, распечатать и вклеить в тетрадь контрольной работы (общее увеличение указано рядом с номером фотографии). Рекомендуемый размер фотографии для работы над выполнением контрольной работы 7-8см.

Задание №1.

Кратко опишите методику и определите двумя способами (линейным и точечным), объёмную долю тёмной фазы (структурной составляющей), а также переведите этот результат в долю по массе, принимая во внимание, что тёмная фаза на фотографиях либо графит в чугуне, либо перлит в доэвтектоидной стали.

С теоретической частью этого задания необходимо ознакомиться на стр. 24-25, а с практикой стереометрического анализа на стр. 48-52 УП «Стереологический анализ» (в дальнейшем УП). Перерасчёт объёмной доли в долю по массе проводят по методике и с использованием данных на стр. 52-53 УП.

Задание №2.

При выполнении задания, выбранную фотографию микроструктуры технически чистого железа необходимо скопировать, распечатать и вклеить в тетрадь контрольной работы (общее увеличение указано рядом с номером фотографии). Рекомендуемый размер фотографии для работы над выполнением контрольной работы 7-8см.

Опишите методику и определите плотность линейных элементов (рёбер полиэдрической структуры) в единице объёма материала.

С теоретической частью этого задания необходимо ознакомиться на стр. 25-26, а с практикой стереометрического анализа на стр. 69-71 УП «Стереологический анализ».

Следует иметь ввиду, что для минимизации ошибки определения величины искомого параметра микроструктуры необходимо выполнить порядка 150 измерений параметров структуры на плоскости шлифа (фотоизображения).

Все оценки геометрических параметров микроструктуры должны сопровождаться расчётом ошибок определения исходя из уровня доверительной вероятности равного 95% (см. стр. 7 УП).

**Лабораторная работа № 1**

**Площадь граничных поверхностей, составляющих структуры материала в единице объёма материала**

**Краткие теоретические положения и методика выполнения**

ИЗМЕРЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ И ОТНОСИТЕЛЬНОЙ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ МЕТОДОМ СЛУЧАЙНЫХ СЕКУЩИХ В КОМБИНАЦИИ С ТОЧЕЧНЫМ МЕТОДОМ

На изображение структуры необходимо нанести карандашом сетку. Размер ячеек сетки должен быть большим, чем средний размер фазы. Схема наложения квадратной сетки на структуру показана на рис.1. Горизонтальные и вертикальные линии окулярной сетки рассматриваются, как случайные секущие линии. Они пересекают поверхности микрочастиц фазы ɑ в ряде точек, которые обозначены на рис.1 светлыми кружками. Число таких точек, отнесенное к единице длины секущих линий, определяется суммарной поверхностью микрочастиц фазы ɑ в единице объема сплава ∑*Sα* (удельной поверхностью). Применяя второе основное стереометрическое соотношение (см. стр. 25 УП), получаем суммарную поверхность микрочастиц фазы α в единице объема сплава:

мм2/мм3 ,

где *L —* суммарная длина секущих линий, при­веденная к плоскости шлифа (с учётом увеличения), мм;

z*—*число точек пересечений секущих линий с поверхностями микрочастиц фазы ɑ.

В том же поле зрения узловые точки сет­ки частично попадают на площади сечений микрочастиц фазы *α*. На рис.1 эти точки показаны черными кружка­ми. Относительное число узловых точек, попавших на сечения микрочастиц фазы *α,* определяется объемной долей этой фазы в сплаве ∑*Vα* . Поэтому суммарный объем микрочастиц фазы *α* в единице объема сплава определим согласно первому основному стереометрическому соотношению (см. стр. 24-25 УП):

 м3/мм3

где *Х—*общее число узловых точек квадратной сетки;

*х—* число узловых точек сетки, попавших на пло­щади сечений микрочастиц фазы *α* в одном поле зрения.

В соответствии с определением понятия относитель­ной удельной поверхности фазы находят относительную удельную поверхность, как отношение ∑Sα к ∑*Vα*, т.е.:

мм2/мм3

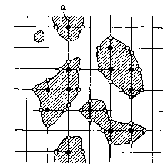
В последнем равенстве величина ***2Х/L*** *—* постоянный коэффициент при данных условиях анализа, который определяется увеличением микроструктуры, размерами и числом яче­ек квадратной сетки секущих линий.

Рис. 1 Схема определения относительной

удельной поверхности методом случайных

секущих в комбинации с точечным методом.

ИЗМЕРЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ МЕТОДОМ СЛУЧАЙНЫХ СЕКУЩИХ В КОМБИНАЦИИ С ЛИНЕЙНЫМ МЕТОДОМ

На изображении структуры проводят ряд се­кущих линий, как показано на рис. 2. Они могут от­стоять друг от друга на разном расстоянии и не быть параллельными. Пересекая микрочастицы фазы α, секущие образуют ряд точек пересечений с поверхностями микрочастиц (обозначены на рисунке кружками) и ряд хорд, выделенных на рисунке жирными линиями.

Обозначим суммарную длину секущих линий че­рез *L*, число полученных на этой длине хорд (отрезков) через *z,* а их среднюю длину через *.*

.

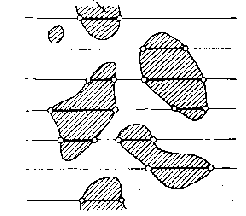


Рис. 2 Схема определения относительной удельной поверхности методом случайных секущих в комбинации с линейным методом

В результате преобразований получаем искомую ве­личину относительной удельной поверхности фазы *α:*

 мм2/мм3

Из последней формулы следует, что относительная удельная поверхность фазы однозначно определяется величиной средней хорды, получаемой при многократном пересечении микрочастиц данной фазы случайными секу­щими.

Определение относительной удельной поверхно­сти фазы осуществляют с помощью изображения структуры и линейки. Линейкой измеряют и регистрируют длины и число хорд, что­бы найти среднюю величину хорды. Точность полученного результата обусловлена числом хорд, измеренных в процессе выпол­нения анализа.

**Практическая часть работы.**

Для выданной к заданию фотографии микроструктуры чугуна или доэвтектоидной стали (общее увеличение указано преподавателем на обратной стороне фотографии):

определите площадь граничных поверхностей этой фазы (структурной составляющей) в единице объёма сплава (удельную поверхность) и её относительную удельную поверхность методом случайных секущих в комбинации с точечным и линейным методами.

**Отчёт должен содержать:**

- расчёт удельной поверхности фаз;

- расчёт относительной удельной поверхности этих фаз;

- расчёт выполнить двумя методами: методом случайных секущих в комбинации с точечным и в комбинации с линейным.

**Лабораторная работа № 2**

**Анализ зёренной структуры металлов и сплавов и определение балла зерна по ГОСТ 5639**

**Краткие теоретические положения, методика и пример выполнения**

Микроструктура однофазных поликристаллических тел (металлов и сплавов) определяется расположением зерен в пространстве (зёренная структура), ориентацией кристаллических решеток в зернах относительно некоторых осей в исследуемых объектах (текстурой) и их взаимосвязью. Знание зеренной структуры необходимо для управления структурными превращениями и формируемыми свойствами.

Главная задача анализа зеренной структуры металлов и сплавов заключается в выборе таких ее характеристик, которые определяют сущность происходящих изменений структуры и достигаемый уровень свойств.

Важными и достаточно просто определяемыми характеристиками зеренной структуры являются объемные – средний объем зерна , поверхностные – средняя площадь сечения зерна (случайная плоскость микрошлифа)  (F – анализируемая площадь микрошлифа, n – число зерен), линейные геометрические параметры – средний диаметр зерна в объеме  и на плоскости , средняя хорда - средний отрезок случайной прямой внутри зерна. Эти характеристики связаны друг с другом соотношениями:



Изм.

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

Лист

Инв. № подл.

Подпись и дата

Взам. инв. № подл.

Взам. инв. №

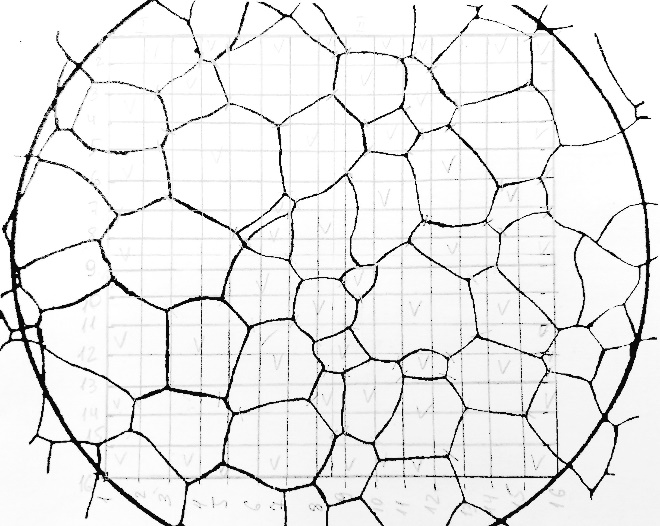
где  - коэффициенты пропорциональности, зависящие от формы зерен.

Балл зеренной структуры М можно определить, исходя из формулы



1. Анализ зеренной структуры методом измерения хорд.

Нанести на изображение структуры сетку секущих линий. Выполнить измерение хорд.



По горизонтали:

3+9+3+12+12+3+8+6+5+14+3

4+7+5+8+10+8+8+10+6+1+3+4+6

12+4+9+9+5+8+1+4+6+13+7

8+10+3+8+8+6+3+8+9+14

3+12+12+6+5+2+11+11+9+7

3+2+8+5+10+4+11+5+2+3+13+13

18+4+4+3+10+14+5+7+10+3

9+3+7+9+17+5+4+7+4+8

1+6+3+9+10+3+7+9+7+5+6+3+2+4+5

По вертикали:

2+5+3+8+12+9+6+9+3+4+6+4

7+3+2+8+10+9+11+2+11+3+3

6+5+5+10+2+3+9+16+12+3

4+3+7+13+5+2+6+11+8+11+2

10+4+2+12+5+18+3+15+2

3+2+8+5+10+4+12+4+2+3+13+12

5+5+6+3+14+4+11+3+8+1+6+2

6+12+2+10+1+13+17+3+2+8+1

7+5+5+7+10+8+4+7+5+8+7

Определим число групп разбиения k зафиксированных зерен n, в данном случае k=9. И найдем число зерен nj, входящих в j-ую группу.

I 0-2 n1=23 шт. VI 10-12 n6=19 шт.

II 2-4 n2=48 шт. VII 12-14 n7=10 шт.

III 4-6 n3=36 шт. VIII 14-16 n8=2 шт.

IV 6-8 n4=33 шт. IX 16-18 n9=4 шт.

V 8-10 n5=26 шт.

Построим гистограмму распределения размеров длин хорд nj = f(hj):

Изм.

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

Лист

Инв. № подл.

Подпись и дата

Взам. инв. № подл.

Взам. инв. № дубл.

Подпись и дата

Для перестройки гистограммы распределения размеров длин хорд nj = f(hj) в гистограмму распределения диаметров зерен Nj =f( ) определим:

















Изм.

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

Лист

Инв. № подл.

Подпись и дата

Взам. инв. № подл.

Взам. инв. № дубл.

Подпись и дата





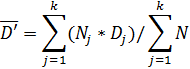


Избавимся от отрицательных значений Nj, повышая их уровень:

N2=7; N4=61; N6=41; N8=58; N10=61; N12=76; N14=74; N16=0; N18=52.

Перестроим гистограмму nj = f(hj) в гистограмму Nj =f( )

Определим средний диаметр зерна  без учета увеличения U:





Изм.

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

Лист

Инв. № подл.

Подпись и дата

Взам. инв. № подл.

Взам. инв. № дубл.

Подпись и дата



Определим средний диаметр зерна  с учетом увеличения U (х250):



Определим общее число зерен по формуле:

n=n1+n2/2+n3/4

где n1=68 шт.–число зерен, полностью лежащих внутри анализируемой площади;

n2=40 шт.- число зерен, пересекающих границы;

n3=4 шт. – число зерен, расположенных в углах анализируемой площади.

n = 68+40\*0.5+4\*0.25=68+20+1=89

Вычислим среднюю площадь сечения зерна  без учета увеличения:



С учетом увеличения:



Определим балл анализируемой зеренной структуры исследуемой стали по формуле:



С учётом полученного значения среднего диаметра зерна определим среднюю площадь его сечения:





**Практическая часть работы.**

Для выданной к заданию копии фотографии микроструктуры технического железа или стали (общее увеличение указано преподавателем на обратной стороне фотографии):

Проведите полный анализ зёренной структуры и определите балл зерна по ГОСТ 5639 двумя методами: методом хорд и методом диаметров.

**Отчёт должен содержать:**

- расчёт среднего диаметра зерна с учётом увеличения, определённый методом хорд;

- расчёт средней площади зерна;

- расчёт балла зерна по ГОСТ 5639;

- расчёт средней площади зерна, выполненный по результатам подсчёта числа зёрен на единице площади шлифа;

- сравнение результатов расчёта балла зерна обоими методами;

**Литература**

1. Салтыков С. А. Стереометрическая металлография М.: Металлургия , 1970. - 376 с.

2. Салтыков С. А. Стереометрическая металлография М.: Металлургия , 1976. - 272 с.

3 Чернявский К.С. Стереология в металловедении М.: Металлургия, 1977. - 230 с.

4. Домбровский Ю.М. Стереологический анализ: Учеб. пособие.- 2023, Электронный ресурс: <http://skif.donstu.ru/>

5. Штремель М.А., Карабасова Л.В., Сатдарова Ф.Ф. Прочность сплавов. Лабораторный практикум. М.: МИСиС. - 1982. - 110 с.

6. Пустовойт В.Н., Блиновский В.А. Анализ зёренной структуры металлов и сплавов: Методические указания/ДГТУ, Ростов н/Д. - 2001. - 10 с.

7.Пустовойт В.Н., Блиновский В.А. Электронно-микроскопическое определение плотности дислокаций: Методические указания/ДГТУ, Ростов н/Д. - 2001. - 10 с.

**Контрольные вопросы к зачёту по курсу "Стереологический анализ"**

СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ МИКРОАНА­ЛИЗА

1. Статистические характеристики параметров микро­структуры. Задачи предмета "Стереометрическая металлография".

2. Точность (погрешность) статистической оценки геометрических параметров микроструктуры металлов.

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ МИКРО­СТРУКТУРЫ

3. Однофазная полиэдрическая структура. Понятие идеального полиэдра.

4. Многофазные структуры. Классификация.

5. Ориентированные структуры. Классификация.

6. Размерности геометрических параметров трехмерной, двумерной и одномерной структур сплава. Связь геометрических параметров структуры со свойствами сплавов.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СТЕРЕОМЕТРИЧЕСКОГО МИКРОАНА­ЛИЗА

7. Соотношения между параметрами трехмерных, двумерных и одномерных структур.

8. Объемная доля фазы или структурной составляю­щей в сплаве.

9. Удельная поверхность границ зерен или фаз в сплаве.

10. Суммарная длина (плотность) линейных элемен­тов структуры в сплаве.

11. Число микрочастиц в единице объема сплава.

12. Средняя кривизна граничных поверхностей.

13. Средняя величина и дисперсия двугранных углов.

14. Кривизна граничных поверхностей элементов структуры сплава.

15. Соотношения параметров при анализе по срезу (фольге).

ПРАКТИКА СТЕРЕОМЕТРИЧЕСКОГО МИКРОАНАЛИЗА

16. Неоднородность структуры и выбор плоскости шлифа. Требования к качеству шлифа для стереометрического микро­анализа.

17. Технические средства стереометрического микроанализа.

18. Основные приёмы определения параметров двумерной структуры.

19. Автоматический количественный микроанализ. Компьютеные методы в стреологии.

СТРУКТУРНЫЙ (ФАЗОВЫЙ) ОБЪЕМНЫЙ СОСТАВ СПЛАВА

20. Планиметрический метод.

21. Линейный метод.

22. Точечный метод.

23. Соотношения между структурным (фазовым) со­ставом сплава по объему и его составом по массе.

ПЛОЩАДЬ ГРАНИЧНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ В ЕДИНИЦЕ ОБЪЕМА СПЛАВА (УДЕЛЬНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ)

24. Определение удельной поверхности в изометри­ческих структурах методом случайных секущих.

25. Определение удельной поверхности ориентирован­ных систем граничных поверхностей.

26. Ориентационная характеристика граничных поверхностей.

27. Определение относительной удельной поверхности фаз сплава.

28. Особенности оценки удельной поверхности металлических порошков.

29. Определение средней кривизны граничных по­верхностей методом подсчета точек касаний.

ПЛОТНОСТЬ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СТРУКТУРЫ В ОБЪЕМЕ СПЛАВА

30. Определение плотности линейных элементов структуры в объеме сплава методом случайных секу­щих плоскостей. Плотность линейных элементов на проекционном изображении.

ЧИСЛО МИКРОЧАСТИЦ В ЕДИНИЦЕ ОБЪЕМА СПЛАВА И РАС­ПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ ПО РАЗМЕРАМ

31. Сечение микрочастиц случайной плоскостью или линией и распределение сечений по размерам.

32. Определение общего числа шаровидных микроча­стиц в объеме сплава методом обратных диаметров.

33. Определение числа шаровидных микрочастиц в объеме сплава и параметров распределения их раз­меров (диаметров) по арифметическому и геометрическому ряду.

34. Определение числа шаровидных микрочастиц в объеме сплава и параметров распределения их раз­меров (диаметров) методом хорд.

35. Методы оценки кривизны граничных поверхностей структуры сплава.

ФОРМА И РАСПОЛОЖЕНИЕ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ В СПЛАВЕ

36. Определение и оценка формы микроскопических частиц.

37. Расположение микрочастиц в объеме сплава и методы оценки их связности.

**ПРИЛОЖЕНИЕ**

|  |  |
| --- | --- |
| **Микроструктура технически чистого железа. Варианты №1-12** | |
| Зерно1 | Зерно2 |
| 1 х100 | 2 х100 |
| Зерно3 | Зерно5 |
| 3 х100 | 4 х100 |
| Зерно9 | Зерно11 |
| 5 х100 | 6 х100 |

|  |  |
| --- | --- |
| Зерно12 | Зерно10 |
| 7 х100 | 8 х100 |
| Зерно8 | Зерно13 |
| 9 х100 | 10 х100 |
| Зерно11 | Зерно4 |
| 11 х100 | 12 х100 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Микроструктура доэвтектоидной стали или графитизированного чугуна. Варианты №1-12** | | |
| Зерно26 | | Зерно27 |
| 1 х100 | | 2 х100 |
| Зерно28 | | Зерно29 |
| 3 х100 | | 4 х100 |
| Зерно25 | | Зерно21 |
| 5 х100 | | 6 х100 |
| Зерно23 | Зерно20 | | |
| 7 х100 | 8 х100 | | |
| Зерно16 | Зерно17 | | |
| 9 х100 | 10 х100 | | |
| Зерно18 | Зерно19 | | |
| 11 | 12 | | |