

Министерство высшего и среднего специального
образования Р С Ф С Р

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Жордана

В.И. Кржков, В.П.Ревякин, И.А. Дроздов

УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА ПО АВИАМЕТАЛЛОВЕДЕНИЮ,
ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ И МЕТАЛЛУРГИИ

Утверждено редакционным советом института
в качестве учебного пособия

Куйбышев 1983

УДК 669.017;001.5

К р ю к о в В.И., Р е в я к и н В.П., Д р о з д о в И.А.
Учебно-исследовательская работа по авиаметалловедению,
термической обработке и металлургии: Учебное пособие. -
Куйбышев: КуАИ, 1983. - 82 с.

Учебное пособие составлено в соответствии с рабочей программой курса УИРС, изучаемого студентами металлургического факультета. Оно содержит общие положения о проведении научных исследований; дает основные обработки экспериментальных результатов; рассматривает некоторые частные методики исследования элементов структуры и свойств металлов, а также содержит рекомендации по выполнению работ экспериментального характера, направленных на изучение влияния обработки на структуру и свойства металлов.

Пособие предназначено для I-го этапа УИРС и может быть полезно при выполнении 3-го этапа, а также при курсовом и дипломном проектировании.

Рецензент проф. д.т.н. Ю.К.Ф а в с т о в

ПРЕДИСЛОВИЕ

Ускорение научно-технического прогресса является первоочередной задачей политики нашей партии. Коренные задачи социальной революции, построения коммунистического общества могут быть решены только на основе ускоренного развития науки и техники. Экономический и технический потенциалы страны, благосостояние граждан, обороноспособность сейчас непосредственно связаны с уровнем развития науки и техники.

Мы живем во время научно-технической революции, отличительной чертой которой является органическое сочетание научных знаний, технического прогресса и производства, создание и развитие единого комплекса "НАУКА-ТЕХНИКА-ПРОИЗВОДСТВО", компоненты которого неразрывно связаны и переплетены, причем наука является здесь непосредственной производительной силой, ибо именно она выступает в роли основы превращения "процесса производства из простого процесса труда в научный процесс" (К.Маркс).

Взаимодействие науки и техники, постепенное превращение науки в непосредственную производительную силу приводит к объективной необходимости в корректировке системы подготовки инженерных кадров. Задачами этой корректировки являются развитие у инженеров способностей к самостоятельному творческому мышлению, освоение не только инженерных, но и научных методов решения технических задач, обогащение знаниями о новейших достижениях в науке и технике, обучение оптимальному использованию полученных знаний в повседневной практике.

С этой целью в вузах значительно расширяются объем научно-исследовательских работ, материальная база для проведения исследований, создаются отраслевые и проблемные научно-исследовательские лаборатории.

К участию в научно-исследовательской работе широко привлекаются студенты, все больше элементов исследовательской работы используется в лабораторных работах, в учебный план включен специальный курс УИРС (учебно-исследовательская работа студентов). Целью теоретического курса УИРС является ознакомление студента с основами науковедения: понятиями "наука" и "знание", основными методами, применяемыми в науке в исследовательской работе, с возможностями использования этих методов для решения технических задач. Кроме того, курс знакомит студента с основами организации науки, условиями ее оптимального развития.

Целью практических работ по УИРС является ознакомление со специальными и частными методами исследования, овладение некоторыми методиками исследования, приобретение навыков проведения эксперимента, анализа результатов эксперимента, составления отчета по проведенной научно-исследовательской работе.

практическая часть УИРС разбита на 3 этапа:

1 - ознакомление со специальными и частными методами исследования;

2 - овладение одним из частных методов исследования путем проведения экспериментальной работы;

3 - приобретение навыка анализа результатов исследования, а также составления и оформления отчета по проведенной работе.

Данная работа является методическим указанием к выполнению I-го этапа УИРС. Методические указания могут быть полезны при выполнении 3-го этапа УИРС, а также курсового и дипломного проектов.

Г. ОБЩАЯ МЕТОДИКА НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Г.Г. Основная задача и содержание научного исследования

Процесс развития науки и техники сложен. Сложность научной деятельности заключается прежде всего в том, что нельзя заранее наметить научное открытие нового закона природы или важных закономерностей строения материи, тем более определить его сроки.

В период научно-технической революции развитие тех или иных направлений науки и техники является суммирующим результатом многих отдельных исследований, направленных на решение конкретных задач.

При планировании отдельных конкретных экспериментов нужны знания всего процесса научного познания и понимания взаимной связи составляющих его элементов.

Основная задача научного познания – это достижение объективной истины того или иного явления. Процесс научного познания состоит из трех основных этапов:

- 1) восприятия, т.е. первичного изучения исследуемого явления;
- 2) обобщения имеющихся сведений и создания гипотезы (теории) явления;
- 3) проверки истинности гипотезы на опыте.

Однако нужно учитывать, что объективная истина приобретается человеком не сразу во всем объеме, а постепенно. Это и понятно; окружающий мир безграничен и бесконечен как вширь, так и вглубь. Так же бесконечно познание любого явления этого мира.

Проникая все дальше в глубь природы явления, открывая первопричины его, современная наука использует тончайшие методы, слож-

нейшие приборы, пользуясь большим объемом научной информации по изучаемому явлению.

От изучения и обобщения известных фактов к опыту, от опыта к обобщению его результатов и вновь к опыту, но на более высокой ступени познания — таков путь достижения объективной истины любого явления.

В данной работе рассматриваются лишь первые шаги научного познания, раскрываются элементы процесса первого научного исследования, устанавливается взаимная связь отдельных элементов исследования.

Общая методика научного исследования, в частности при решении отдельных и конкретных вопросов металловедения, в первом приближении состоит из ряда последовательных этапов:

1. Постановка задачи исследования. Изучение и обобщение литературных данных.
2. Выбор и обоснование методов исследования. Составление частных, рабочих методик.
3. Подготовка оборудования, материалов и приборов.
4. Проведение эксперимента.
5. Обработка экспериментальных результатов.
6. Анализ и обсуждение результатов эксперимента.
7. Выводы по работе с указанием практического или теоретического применения научных результатов.
8. Составление отчета по работе.
9. Подготовка доклада на конференцию.

1.2. Постановка задачи исследования

В этап постановки задачи исследования входит изучение и обобщение литературных данных по рассматриваемому вопросу, определение общего направления исследования и написание критического литературного обзора. Все это можно назвать изучением состояния вопроса.

Изучение состояния вопроса проводится на основании литературных данных патентного дела и отчетов научно-исследовательских работ. Изучение следует начинать с обзорной литературы (иногда учебного характера). Это дает возможность получить общее представление о поставленной задаче, о ее взаимосвязи со смежными вопросами.

Затем необходимо ознакомиться с монографиями к поставленной задаче.

После изучения монографий нужно просмотреть реферативный журнал "Металлургия", который выходит ежемесячно и содержит краткие рефераты статей, изобретений, открытий и т.п., вышедших в печати в последнее время в Советском Союзе и за рубежом.

Просмотр этого журнала за последние 2-3 года (для начала) укажет, что сделано в данном направлении и где напечатан материал по изучаемому вопросу.

В настоящее время по вопросам металловедения выходят следующие периодические издания: "Физика металлов и металловедение" - ФММ, "Металловедение и термическая обработка" - МиТОМ, "Порошковая металлургия" - ПМ, "Цветная металлургия", "Черная металлургия", "Заводская лаборатория" и др.

Кроме того, выходят периодические сборники и издания по отдельным проблемам, например, "Вопросы физики металлов и металловедения", "Исследования по жаропрочным сплавам" и т.д., выпускаются труды вузов и научно-исследовательских институтов: ВИАМ, ВИДС, ЦНИИЧМ, НИИАТ и др.

Обзор литературы подскажет новые источники изучения вопроса, а также адреса организаций, где проводятся подобные исследования и куда следует съездить, чтобы на месте познакомиться с оборудованием, изучить отчеты научно-исследовательских работ.

В результате изучения литературных данных исследователь должен четко представить состояние вопроса - что является менее изученным, в каком направлении необходимо проводить исследования. На основании этого он должен сформулировать постановку задачи исследования, цель работы, наименование темы, наметить методы исследования.

1.3. Выбор, обоснование и составление методик исследования

Выбор методов исследования вытекает из постановки задачи и цели работы. При этом необходимо установить какие свойства, параметры и величины будут исследоваться в работе.

При выборе метода измерения какой-то величины следует учитывать следующее:

Характер измеряемой величины, например, температуру твердого тела, газа или жидкости; длину стержня или диаметр отверстия.

Пределы измеряемой величины, например, температуру жидкого металла 1400–1600°C, температуру воды 20–100°C, длину стержня 500 мм или диаметр отверстия 5 мм.

Пределы метода измерения и требуемую точность измерения. Например, ртутный термометр позволяет измерить температуру в пределах от 0 до 100°C с точностью 0,1°; 0,5°; 1,0°C при требуемой точности $\pm 0,1$. Длину стержня можно измерить линейкой, если требуемая точность не превышает $\pm 0,5$ мм и т.п.

В табл. I.I приведены четыре возможных варианта измерения длин в зависимости от пределов и точности измерения.

Т а б л и ц а I.I

Приборы	Предел измерения, мм	Точность измерения, мкм	Измеряемая величина, мм	Относительная ошибка, %
Измерительная линейка	1000	500	750/75	0,07/0,7
Штатгенциркуль	150	50	100/10	0,05/0,5
Микрометр	25	10	20/2	0,05/0,5
Микроскоп	I	I	0,5/0,05	0,2/2,0

Из табл. I.I видно, что относительная ошибка одного измерения уменьшается при близких значениях измеряемой величины и предела измерения.

После проведения анализа точности ряда методов выбирается тот, который обеспечивает получение требуемой точности результатов и является относительно простым. Затем для выбранного метода составляется методика исследования, которая должна содержать следующие разделы:

- а) проверка работы установки, приборов, их градуировка, периодичность проверки;
- б) требования к свойствам образцов и их изготовлению, операции по подготовке образцов к измерению;
- в) последовательность проведения измерений;
- г) формы протоколов для записи результатов измерения и их обработка;

д) указания числа необходимых измерений для обеспечения требуемой точности.

Для определения числа необходимых измерений следует провести пробные измерения. Пробные измерения преследуют несколько целей: освоение последовательности проведения эксперимента; проверку работы отдельных элементов установки, аппаратуры; определение интервала значений каждой из величин, измеряемых в данном эксперименте; оценку возможных ошибок различных величин.

После проведения пробных экспериментов следует рассчитать среднеарифметическую, относительную ошибки и т.п.

Их величины должны быть близкими к ошибкам метода измерения. На основании проведенных расчетов определяется минимальное необходимое число измерений.

Если найденные средние ошибки результатов значительно превышают ошибки метода, то необходимо либо увеличить число измерений, либо повысить требования к изготовлению образцов, чистоте проведения эксперимента и т.п.

1.4. Проведение экспериментов

Первым этапом в проведении экспериментов является подготовка оборудования, материалов и приборов. Здесь невозможно дать общие указания, так как характер подготовки определяется в каждом конкретном случае видом, типом установки, прибора и т.д.

Принципы и методы конструирования новых установок излагаются в специальных руководствах. Поэтому можно дать лишь несколько советов общего характера: делайте все как можно проще; указывайте материалы более доступные; назначайте допуски на размеры не меньше, а чистоту поверхности не больше, чем это действительно необходимо; ориентируйтесь на приборы и детали, выпускаемые промышленностью.

Большую роль в проведении эксперимента играет чистота его выполнения. Понятие чистоты эксперимента включает в себе точность и корректность опыта, хорошую подготовку образцов и вспомогательного инструмента, чистоту рабочего места, постоянство условий проведения каждого отдельного опыта и т.п.

Проведение эксперимента требует большого внимания, аккуратности на всех этапах. До начала эксперимента исследователь обязан

познакомиться с техникой безопасности его проведения. Результаты эксперимента заносятся в специальные таблицы. Таблицы опытных данных можно разделить на две группы: таблицы записей и таблицы результатов.

Под таблицами записи подразумевается специально разграфленные формы, в которые заносятся непосредственные результаты опытных наблюдений, а также результаты промежуточных расчетов искомой величины и ошибок. В таблицах результатов приводятся только выводы из таблицы записи, т.е. величины независимого переменного и изучаемой функции.

Техника составления таблиц опытных данных основывается на ряде правил:

Размерность или наименование единиц измерения следует помещать в названии столбца таблицы, но не приписывать к численным значениям, включенным в таблицу.

В таблицу заносятся численные значения величины со знаками, лежащими в пределах точности отсчета.

При определении чисел нужно придерживаться следующего правила: последняя цифра остается без изменения, если отбрасываемая цифра меньше 5, увеличивается на единицу, если отбрасываемая цифра больше 5. При отбрасываемой цифре равной 5 последняя цифра не изменяется, если она четная, и увеличивается на единицу, если она нечетная.

Если числа со многими нулями, то в заголовке столбца пишется название единиц измерения, умноженное на 10 в какой-то степени.

При исследовании сплавов в таблицу целесообразно вносить столбец с указанием химического состава. Оформленная таблица должна быть снабжена названием, описывающим сущность изученной закономерности.

При проведении и записи измерений следует внимательно проверить, что записано, взглянув еще раз на прибор.

Итак: посмотрите, запишите, проверьте.

Если в ходе измерений появляются значительные отклонения, то необходимо немедленно выявить причину и по возможности ее устранить. Все записи нужно датировать.

1.5. Обработка экспериментальных результатов

Обработка экспериментальных результатов является наиболее важной частью проведения исследований. Она ставит две цели: получение достоверных результатов; представление полученных данных в наиболее обобщенной логичной и наглядной форме, вскрывающей закономерности изучаемого явления.

Достоверность результатов достигается их математической обработкой, которая рассмотрена в главе 2, а достижение второй цели — обобщение, логичность, наглядность — в данном разделе.

Одной из форм представления экспериментальных данных являются таблицы результатов, требования к которым приведены выше.

Графическое изображение результатов в силу своей наглядности является более распространенным методом показа и обобщения полученных опытных данных. При построении графиков по данным таблиц также нужно придерживаться ряда правил:

1. Для построения графиков чаще всего используют прямоугольную систему координат. По оси абсцисс откладывают значения независимой переменной, а по оси ординат — величину изучаемой характеристики в пределах исследования.

Построение и использование графиков упрощается, если они выполняются на миллиметровой бумаге.

2. Перед построением графика, исходя из пределов, в которых заключены значения функции и аргумента, следует выбрать разумные масштабы по осям. Эти масштабы выбирают так, чтобы график не был слишком мелким или растянутым по одной из осей.

При определении абсолютного значения масштабов по осям нужно исходить из следующего:

а) сечение опытной точки ($2x \cdot 2y$), вычерченной в масштабе, рекомендуется брать в пределах 2–4 мм;

б) опытная точка ($2x \cdot 2y$) должна быть приблизительно квадратной формы; x и y — абсолютные ошибки в определении величин x и y ;

в) предельный размер графика не должен превышать 200–250 мм.

3. Масштабные деления наносят на осях и около них пишут цифры. Масштаб должен быть простым. Лучше всего, если единицы измерения кратны: 0,1; 1,0; 10; 100 и т.д. Можно допустить также кратность 2 и 5. Других масштабов следует избегать, потому что это затруднит построение графика и пользование этим графиком.

У концов осей графика пишут обозначения величины с указанием единиц измерения.

4. Кривую на графике следует проводить плавной линией и таким образом, чтобы примерно одинаковое число точек находилось над и под кривой.

5. Иногда графики строят с применением функциональных масштабов, которые полезны в тех случаях, когда на графике нужно растянуть или сократить участки кривой (например, логарифмические, квадратные и т.п. координаты).

Такой вид масштабов иногда применяется для нахождения эмпирической зависимости.

6. На один график может быть нанесено несколько кривых, представляющих собой зависимости нескольких величин от одной независимой переменной.

Чтобы различать экспериментальные данные различных величин, пользуются различной формой точек, по которым проводится кривая, например, кружками, квадратами, треугольниками и т.п.

Однако при построении таких графиков нужно знать меру: если график выглядит загроможденным, то лучше построить отдельные кривые.

7. В некоторых случаях на графиках указывают ошибку измерения. Ошибку обозначают в виде значка (рис. I.I).



Р и с. I.I

Поскольку значки ошибок усложняют график, то это следует делать в том случае, когда информация о величине ошибки действительно нужна. Например, при сравнении экспериментальной кривой с теоретической.

Рассмотренные правила далеко не исчерпывают все тонкости построения графиков экспериментальных данных.

Иногда экспериментальные данные представляют в виде эмпирических зависимостей. Нахождение эмпирических зависимостей будет рассмотрено в отдельном учебном пособии.

I.6. Составление отчета о работе (по УИРС)

Отчет о НИР является основным документом, в котором излагаются исчерпывающие сведения о выполненной работе. Материал, отбираемый для включения в отчет, должен быть обработан и систематизирован. Общими требованиями к отчету о НИР являются: четкость построения; логическая последовательность изложения материала; убедительность аргументации; практичность и точность формулировок, исключающих возможность субъективного и неоднозначного толкования; конкретность изложения результатов работы; доказательность выводов и обоснованность рекомендаций.

Отчет по УИРС должен включать в указанной ниже последовательности титульный лист, содержание (оглавление), основную часть, список литературы.

О с н о в н а я ч а с т ь о т ч е т а

Основная часть отчета включает в себя разделы: введение; аналитический обзор; разделы (главы) отчета, отражающие методику, содержание и результаты выполненной работы; заключение (выводы и предложения).

В о в в е д е н и е должно быть кратко охарактеризовано современное состояние научной (технической) проблемы (вопроса), которой посвящена работа, освещена цель работы, четко сформулировано в чем заключается ее новизна и актуальность.

О б з о р (состояние вопроса) заключается в полном и систематизированном изложении состояния вопроса, которому посвящена данная работа. Сведения, содержащиеся в аналитическом обзоре, должны позволять объективно оценивать научный (научно-технический) уровень работы, правильно выбирать пути и средства достижения поставленной цели и оценивать эффективность как этих средств, так и работы в целом.

Р а з д е л ы (главы) отчета должны отражать методику, содержание и результат выполненной работы. В разделах (главах) отчета должно подробно и последовательно излагаться содержание выполненной НИР и описываться все промежуточные и окончательные результаты, в том числе результаты отрицательные. Методика исследования должна излагаться подробно с обоснованием ее выбора (или разработки).

В разделе, посвященном описанию экспериментов, должна указываться цель и описываться программа конкретных экспериментов, излагаться их сущность, оцениваться точность и достоверность полученных данных, которые следует сопоставить с теоретическими данными. Завершается раздел трактовкой полученных результатов и описанием их возможного применения.

З а к л ю ч е н и е (выводы и предложения) должно содержать оценку результатов работы, в частности, с точки зрения их соответствия требованиям задания. В конце заключения следует указывать, чем завершена работа:

получением данных о новых объектах, процессах, явлениях, закономерностях, разработкой научных основ, новых методов и принципов исследования, получением качественных и количественных характеристик объектов и явлений;

разработкой проектов новых технологических процессов, режимов и регламентов;

внедрением в производство вновь созданных или усовершенствованных изделий, продуктов, технологических процессов, режимов; технологической помощью производству.

Указываются в заключении и отрицательные результаты, если они получены при завершении работы. Разделы (главы), отражающие методику, содержание и результаты НИР, и подразделы (параграфы) должны иметь содержательные заголовки. Заголовки разделов (глав) пишутся прописными буквами, заголовки подразделов (параграфов) – строчными (кроме первой прописной). Подчеркивать заголовки и переносить слова в заголовках не допускается.

Разделы (главы) отчета следует начинать с новой страницы. В тексте, таблицах и иллюстрациях не допускается сокращение слов, кроме общепринятых.

Значения и единицы измерения физико-технических величин необходимо приводить в системе СИ в соответствии со стандартом СЭВ1052-78 "Метрология. Единицы физических величин". Отчет должен быть написан на одной стороне листа белой бумаги формата (210x297мм), поля должны оставляться по всем четырем сторонам листа. Размер левого поля – 35 мм, правого – не менее 10 мм, верхнего и нижнего – не менее 20 мм.

На титульном листе указываются название организации (института), кафедры, наименование темы, руководитель темы, исполнители,

город и год написания отчета. Отчет должен иметь сквозную нумерацию арабскими цифрами. Первой страницей является титульный лист. Номер страницы проставляют в правом верхнем углу. На первой странице (титульный лист) номер страницы не ставят.

Если в отчете содержатся рисунки и таблицы, которые располагаются на отдельных страницах, их необходимо включать в общую нумерацию. Все иллюстрации (фотографии, схемы, чертежи и пр.) именуются рисунками. Рисунки нумеруются последовательно арабскими цифрами. При ссылке на рисунок следует указывать его номер, например, "рис.5". Повторные ссылки на рисунок следует давать с сокращенным словом "смотри", например, "см.рис.5". Рисунки должны размещаться сразу после ссылки на них в тексте отчета. Каждый рисунок должен сопровождаться содержательной подписью.

Цифровой материал, помещенный в отчет, рекомендуется оформлять в виде таблиц. Таблицу следует помещать после первого упоминания о ней в тексте. Таблицы должны нумероваться арабскими цифрами. Над правым верхним углом таблицы помещают надпись "Таблица" с указанием номера таблицы. При ссылке на таблицу указывается ее номер, например, "табл.6", при повторной ссылке - "см.табл.6". Если в какой-либо строке таблицы цифровые или иные данные не приводят, то в ней ставят прочерк. Каждая таблица должна иметь содержательный заголовок. Заголовок помещают под словом "таблица" над соответствующей таблицей.

Формулы, на которые имеются ссылки в тексте, должны нумероваться арабскими цифрами. Номер формулы следует заключать в скобки и помещать на правом поле на уровне нижней строки формулы, к которой он относится. При ссылке в тексте на формулу необходимо указывать ее номер, например, "в формуле (2)".

В экспликации значения символов и числовых коэффициентов должны приводиться непосредственно под формулой в той последовательности, в какой они даны в формуле. Значение каждого символа и числового коэффициента следует давать с новой строки. Первую строку экспликации начинают со слова "где", двоеточие после него не ставят. Размерность одной и той же величины в пределах отчета должна быть постоянной.

В список литературы включают все использованные источники. Источники следует располагать в порядке появления ссылок в тексте отчета.

Сведения о книгах (монографии, учебники, справочники и т.д.) должны включать: фамилию и инициалы автора, заглавие книги, место издания, год, количественную характеристику (объем в страницах и количество иллюстрированного материала).

Сведения о статье из периодического (продолжающегося) издания должны включать: фамилию и инициалы автора, заглавие статьи, наименование серии (если таковая имеется), год выпуска, том (при необходимости), номер издания журнала, страницы, на которых помещена статья. При указании номера страниц, на которых помещена статья, следует приводить номера первой и последней страниц, разделенных тире, например: с. 32-39.

При ссылке в тексте на источники документальной информации следует приводить порядковый номер по списку литературы, заключенный в квадратные скобки.

Составление отчета о работе регламентируется ГОСТ 19600-74.

Л и т е р а т у р а : [1, 3, 4, 6].

2. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

2.1. Задачи и точность измерений

Основой научно-исследовательской работы являются эксперименты, дающие числа-результаты измерений. В задачу каждого измерения входит оценка точности полученного результата.

Надлежащая обработка полученных чисел приводит к теоретическому осмыслению результатов эксперимента и к конечной цели — установлению законов явления, позволяющих предсказывать ход интересующих нас процессов.

В данной работе рассмотрены методы оценки результатов измерений и даны соответствующие таблицы, необходимые для практического применения указанных методов.

В экспериментальной работе неизбежно встречаются два последовательных процесса: измерения, которые выполняются в процессе проведения эксперимента; вычисления, которые выполняются по окончании измерения при обработке результатов.

Необходимо иметь в виду, что все чисто арифметические вычислительные операции играют только служебную роль. Достаточно полная и всесторонняя математическая обработка результатов измерений часто позволяет не только оценивать правильность и пригодность полученных результатов, но и установить на основании их те физические закономерности, которые имеют место в данном явлении.

Измерением какой-либо физической величины называется операция, при которой определяется, во сколько раз измеряемая величина больше (или меньше) соответствующей величины, принятой за эталон.

Следует помнить, что никакое измерение не может быть вполне абсолютно точно. Его результат всегда содержит некоторую ошибку.

Очевидно, что измеряя с помощью инструмента некоторую величину, нельзя сделать ошибку меньше, чем та, которая определяется погрешностью измерительного инструмента. Итак, в результате измерений всегда определяется нужная величина с некоторой погрешностью.

В задачу измерений входит не только нахождение самой величины, но также и оценка допущенной при измерении погрешности.

Часто стараются произвести измерения с наибольшей достижимой точностью, т.е. сделать ошибку измерения по возможности малой. Однако следует иметь в виду, что чем точнее мы хотим измерить, тем труднее это сделать. Поэтому не следует требовать от измерений большей точности, чем это необходимо для решения поставленной задачи.

Не следует увлекаться получением излишней точности, когда она не нужна, но необходимо прилагать максимум усилий и не жалеть времени и труда для получения лишнего десятичного знака, когда это требуется. Надо иметь в виду, что очень часто именно повышение точности измерений позволяет открыть новые, неизвестные ранее закономерности.

Измерения разделяются на прямые и косвенные. При прямых измерениях определяемая величина сравнивается с единицей измерения непосредственно или при помощи измерительного прибора, проградуированного в соответствующих единицах. К этим измерениям относятся измерения промежутков времени посредством часов или секундомера; измерение длины линейкой, штангенциркулем, микрометром; измерения масс на весах с помощью гирь; измерения температуры термометром и т.п.

Косвенные измерения — измерения, при которых результат получается на основании опытных данных прямых измерений нескольких величин, связанных с измеряемой величиной определенной функциональ-

ной зависимостью. Например, для определения коэффициента термического расширения измеряют изменения температуры и длины образца, а сам коэффициент термического расширения рассчитывают по формуле

$$\alpha = \frac{l_2 - l_1}{T_2 - T_1} \cdot \frac{1}{l_1} \dots, \quad (2.1)$$

где l_2, l_1 - длина образца при температурах T_2 и T_1 . Из этого примера видно, что точность косвенного измерения будет зависеть от точности нескольких прямых измерений и поэтому она всегда ниже.

2.2. Классификация ошибок измерения

При всех измерениях неизбежно допускаются ошибки (погрешности). Возможные ошибки могут быть разделены на систематические, случайные и промахи.

СИСТЕМАТИЧЕСКИЕ ОШИБКИ - это ошибки, которые получаются систематически при повторных измерениях и обусловлены одной и той же причиной, часто известной заранее. Систематические ошибки возникают в результате неточной градуировки прибора, неправильной установки нуля шкалы, неточности самого метода измерения и т.п. Они всегда односторонне влияют на результаты измерений, только увеличивая или только уменьшая их. Обычно при многократных измерениях систематическая ошибка имеет одно и то же значение. Такие ошибки можно учесть, а поэтому и устранить из результатов опыта с помощью тщательной проверки методики, схемы экспериментальной установки и приборов перед началом опытов, а также введением специальных поправок в полученные данные. Необходимо учитывать, что систематические ошибки не могут быть учтены общей математической теорией ошибок опыта. Поэтому систематические ошибки в принципе опаснее случайных, так как будут зависеть от опыта экспериментатора. И чем меньше опыт экспериментатора, тем больше вероятность наличия систематических ошибок измерения.

СЛУЧАЙНЫЕ ОШИБКИ возникают вследствие самых различных, как субъективных, так и объективных причин. Все эти причины приводят к тому, что несколько измерений одной и той же величины дадут различные результаты. Эти ошибки непосредственны, а потому, вследствие случайных обстоятельств, могут как увеличивать, так и уменьшать

значение измеряемой величины. Ошибки такого типа подчиняются законам теории вероятностей, установленным для случайных явлений.

Исключить случайные ошибки нельзя, но оценить ошибки, с которыми получен результат, возможно. Поэтому следует считать, что случайные ошибки определяют точность эксперимента. Несмотря на то, что случайные ошибки неустранимы, все же после тщательного анализа условий измерения можно уменьшить их величину. Источником случайных ошибок в общем случае являются:

1. Принципиальная схема проведения исследования. Это относится в первую очередь к косвенным измерениям, когда определение одной и той же величины можно провести по различным схемам, обладающим различной точностью.

2. Класс точности используемых приборов.

3. Чистота проведения эксперимента, т.е. величина отклонения от намеченных идеальных условий.

Выбор более точной принципиальной схемы опыта, применение измерительных приборов с более высоким классом точности приводят к уменьшению величины случайных ошибок и являются основой выбора и обоснования методики исследования.

П р о м а х и — это ошибочные измерения или наблюдения, возникающие в результате небрежности проведения эксперимента, записи показаний и обработки экспериментальных данных. При вычислениях измеряемых величин такие ошибочные данные следует отбрасывать и проделявать повторные (контрольные) измерения.

В дальнейшем будем считать, что систематические ошибки и промахи устранены и рассматриваются только случайные ошибки.

2.3. Определение ошибок для результатов прямых измерений

Это относится к тем измерениям, при которых искомая величина может быть определена непосредственно показаниями прибора. При этом нужно различать ошибку одного измерения и ошибку нескольких измерений. При одном измерении за среднюю абсолютную ошибку ΔA_{cp} принимают половину точности прибора. Под точностью прибора понимается наименьшая единица измерения, до которой можно делать отсчет по данному прибору ($\pm 0,5$ цены наименьшего деления).

Однако одно измерение не может дать достоверных результатов о измеряемой величине вследствие случайных ошибок, которые прояв-

ляются, но не учитываются при одном измерении. Поэтому для более правильной оценки точности измерения величины проводят несколько её измерений с одинаковой точностью.

В результате этого получают ряд различных значений величины $a: a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$. На основании теории ошибок, наиболее близким к истинному значению измеряемой величины является среднее арифметическое значение ряда отдельных измерений, т.е.

$$a = a_{cp} = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n}{n}, \quad (2.2)$$

где a_1 - первое измерение, a_2 - второе измерение, a_n - n -е измерение, n - число измерений.

Абсолютной ошибкой данного измерения называется разность между средним арифметическим значением и данным измерением:

$$\begin{aligned} \Delta a_1 &= a_{cp} - a_1, \\ \Delta a_2 &= a_{cp} - a_2, \\ \Delta a_n &= a_{cp} - a_n. \end{aligned}$$

Точность среднего арифметического значения характеризуется средней арифметической ошибкой, которая рассчитывается по формуле

$$\Delta a_{cp} = \pm \frac{|\Delta a_1| + |\Delta a_2| + \dots + |\Delta a_n|}{n}. \quad (2.3)$$

Результат измерений записывается в виде $a = a_{cp} \pm \Delta a_{cp}$ (с указанием размерности).

При достаточно большом числе измерений Δa_{cp} приближается по величине к точности прибора Δa . Однако возможны случаи, когда, увеличивая число измерений n , ошибку довести до точности прибора не удастся. Очевидно, такие ошибки не связаны с точностью прибора.

для более полного представления о точности измерения и возможности сравнения точности при разных абсолютных значениях измеряемой величины находится относительная ошибка результата.

Относительной ошибкой называется отношение абсолютной ошибки Δa к самой измеряемой величине a , т.е. $\frac{\Delta a}{a}$ или $\frac{\Delta a_{cp}}{a_{cp}}$.

Следует учитывать, что при изучении количественных закономерностей для установления относительной точности опыта абсолютную

ошибку следует относить не к абсолютному значению измеряемых величин, а к величине изменения изучаемой характеристики в пределах исследования. Например, при превращении мартенсита в перлит происходит изменение твердости примерно от $RC'62$ до $RC''22$. Абсолютное изменение твердости равно $62-22=40$.

Относительная ошибка

$$\frac{\Delta RC}{RC' - RC''} = \pm \frac{1}{40} = \pm 0,025 = \pm 2,5\%$$

Применение того же метода к изучению превращения мартенсита в бейнит приводит к совершенно другой величине относительной ошибки опыта:

$$\frac{\Delta RC}{RC' - RC''} = \pm \frac{1}{62-52} = \pm 0,1 = \pm 10\%$$

Оценка величины случайной ошибки измерения иногда производится по средней арифметической ошибке, но наиболее часто с помощью стандартной или средней квадратичной ошибки, вычисляемой по формуле

$$\begin{aligned} \Delta S_n &= \sqrt{\frac{(a_{cp} - a_1)^2 + (a_{cp} - a_2)^2 + \dots + (a_{cp} - a_n)^2}{n-1}} = \\ &= \sqrt{\frac{\sum_i^n (a_{cp} - a_i)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_i^n (\Delta a_i)^2}{n-1}} \end{aligned} \quad (2.4)$$

В принципе безразлично, какую из двух ошибок вычислять. Следует пользоваться той, для которой расчеты проще. Если n достаточно велико, то между ΔS_n и Δa_{cp} существует простое соотношение: $\Delta a_{cp} = 0,8 \Delta S_n$ или $\Delta S_n = 1,25 \Delta a_{cp}$.

Однако при малом числе измерений нужно пользоваться ΔS_n , для которой, в этом случае, легко определить доверительную вероятность, пользуясь таблицами Стьюдента.

Если число измерений велико, то величина ΔS_n стремится к некоторому постоянному значению σ , которое можно назвать статистическим пределом ΔS_n , т.е. $\sigma = \lim_{n \rightarrow \infty} \Delta S_n$.

Именно этот предел и называется средней квадратичной ошибкой.

Величина σ является важным параметром в формуле нормального закона распределения ошибок.

Относительная величина средней квадратичной ошибки, выраженной в процентах, носит название коэффициента вариации:

$$W = \frac{\sigma}{a_{cp}} 100\% . \quad (2.5)$$

Надежностью результата серии измерений называется вероятность того, что истинное значение a измеряемой величины попадет в данный доверительный интервал, т.е.

$$a_{cp} - \Delta a < a < a_{cp} + \Delta a ,$$

где Δa - погрешность измерения величины a .

Вероятность α носит название доверительной вероятности или коэффициента надежности, она выражается в долях единицы или процентах.

Интервал значений от $a_{cp} - \Delta a$ до $a_{cp} + \Delta a$ носит название доверительного интервала.

Таким образом, для характеристики величины случайной ошибки необходимо задать два числа: величину самой ошибки или доверительного интервала и величину доверительной вероятности.

Удобство применения стандартной (средней квадратичной) ошибки в качестве основного численного выражения погрешности наблюдений заключается в том, что этой величине соответствует вполне определенная доверительная вероятность.

Наиболее распространенный случай распределения ошибок описывается нормальным законом и выражается функцией

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\Delta x)^2}{2\sigma^2}} , \quad (2.6)$$

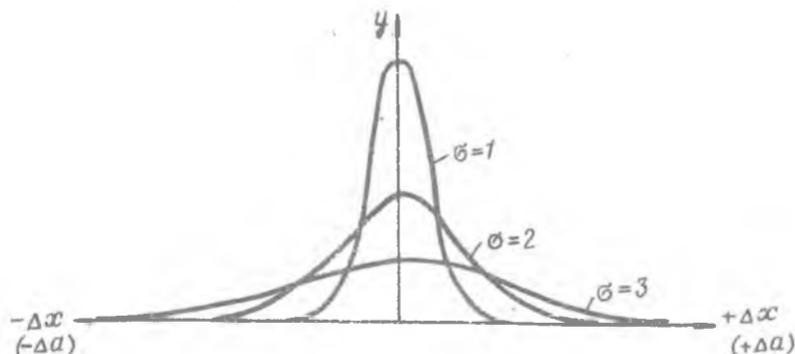
где σ^2 - дисперсия измерения, e - основание натурального логарифма, Δx - погрешность измерения Δa .

В случае большого числа измерений ($n \rightarrow \infty$) величина дисперсии оказывается равной среднему квадрату погрешности отдельного измерения:

$$\sigma^2 = \Delta S n^2 = \frac{\sum (\Delta a_i)^2}{n-1} . \quad (2.7)$$

Дисперсия σ^2 характеризует быстроту уменьшения вероятности появления погрешности X с ростом величины этой погрешности.

На рис. 2.1 приведены кривые для трех значений σ . При этом площади под кривыми одинаковы.

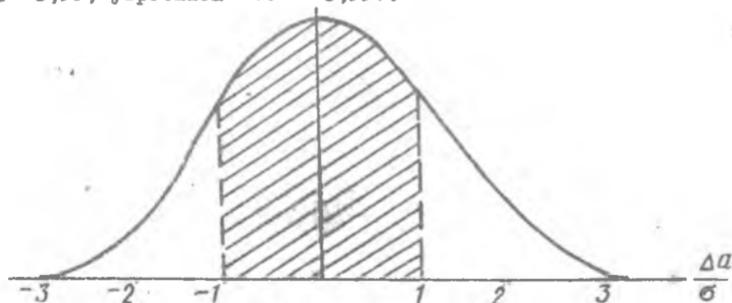


Р и с . 2.1

Величина коэффициента надежности α зависит от числа измерений n и от величины задаваемой погрешности Δa . Так, например, при $n \geq 30$, принимая Δa равным значению σ , мы получаем величину надежности $\alpha = 0,68$ или $\alpha = 68\%$, т.е. 68% всех измерений уложится в соответствующий интервал ошибок.

На рис. 2.2 доверительный интервал, соответствующий $\alpha = 68$, изображен заштрихованной площадью.

Удвоенной средней квадратичной ошибке (2σ) соответствует $\alpha = 0,95$, утроенной — $\alpha = 0,997$.



Р и с . 2.2

Величину $\Delta = 3\sigma$ называют наибольшей возможной ошибкой. Практически все ошибки измерения заключены между -3σ и $+3\sigma$.

При обычных измерениях можно ограничиться доверительной вероятностью 0,9 или 0,95.

Если изменить величину доверительного интервала любым образом, то по формуле Гаусса может быть рассчитана доверительная вероятность. Эти вычисления были проделаны и их результаты сведены в таблицу 2.1.

Т а б л и ц а 2.1

Доверительные вероятности α для доверительного интервала, выраженного в долях средней квадратичной ошибки

$$\varepsilon = \frac{\Delta a}{\sigma} \quad |\Delta a| \quad - \text{погрешность измерения}$$

ε	α	ε	α	ε	α	ε	α
0,0	0,00	1,1	0,73	2,4	0,984	3,7	0,9998
0,05	0,04	1,2	0,77	2,5	0,988	3,8	0,99986
0,1	0,08	1,3	0,80	2,6	0,990	3,9	0,99990
0,15	0,12	1,4	0,84	2,7	0,993	4,0	0,99993
0,2	0,16	1,5	0,87	2,8	0,995		
0,3	0,24	1,6	0,89	2,9	0,996		
0,4	0,31	1,7	0,91	3,0	0,997		
0,5	0,38	1,8	0,93	3,1	0,9981		
0,6	0,45	1,9	0,94	3,2	0,9986		
0,7	0,51	2,0	0,95	3,3	0,9990		
0,8	0,57	2,1	0,964	3,4	0,9993		
0,9	0,63	2,2	0,972	3,5	0,9995		
1,0	0,68	2,3	0,978	3,6	0,9997		

Пример пользования таблицей.

Пусть для некоторого ряда измерений мы получили $a_{\text{ср}} = 1,27$, $\sigma = 0,032$. Какова вероятность того, что результат отдельного измерения не выйдет за пределы, определяемые неравенством $1,26 < a < 1,28$?

Доверительные границы нами установлены в $\pm 0,01$, что составляет в долях

$$\varepsilon = \frac{0,01}{0,032} = 0,32$$

Из табл. 2.1 находим, что доверительная вероятность для $\varepsilon = 0,32$ равна 0,25. Иначе говоря, приблизительно 1/4 измерений уложится в интервал ошибок $\pm 0,01$.

Определим теперь α для границ $1,20 < a < 1,32$.
 $\varepsilon = \frac{0,07}{0,032} = 2,2$. По таблице для $\varepsilon = 2,2$ находим $\alpha = 0,97$.
 Результаты приблизительно 97% всех измерений будут укладываться в этот интервал.

Поставим другой вопрос. Какой доверительный интервал нужно выбрать для тех же измерений, чтобы примерно 98% результатов попадали в него? Из табл. 2.1 находим, что значению $\alpha = 0,98$ соответствует $\varepsilon = 2,4$, следовательно $\sigma = 0,032 \cdot 2,4 = 0,077$, а интервал будет $1,193 < a < 1,347$ или, округляя $1,19 < a < 1,35$. Этот результат можно записать: $a = 1,27 \pm 0,08$ с доверительной вероятностью 0,98.

При недостаточно большом числе измерений (практически при $n < 20$) при расчете Δa для заданной надежности α необходимо пользоваться коэффициентом Стьюдента (t_α), зависящим от числа проведенных измерений n и от величины надежности α :

$$t_\alpha = \frac{\Delta a \sqrt{n}}{\Delta S_n}, \quad (2.8)$$

где Δa - погрешность измерения;

$$\Delta S_n = \sqrt{\frac{\sum (\Delta a_i)^2}{n-1}} \quad - \text{среднеквадратичная погрешность измерения.}$$

В табл. 2.2 приведены значения коэффициентов t_α для разных значений надежности α и числа измерений n .

Задавая надежность α по числу проведенных измерений n определяем значение t_α по табл. 2.2.

Вычислив по формуле (2.7) среднеквадратичную погрешность, найдем погрешность Δa :

$$\Delta a = t_\alpha \frac{\Delta S_n}{\sqrt{n}} \quad (2.8a)$$

После этого результат измерений можно записать в виде

$$a = \bar{a} \pm \Delta a,$$

где \bar{a} - среднее значение.

Это означает, что истинное значение величины a попадает в доверительный интервал $(\bar{a} - \Delta a; \bar{a} + \Delta a)$ с надежностью α .

Т а б л и ц а 2.2

Коэффициент Стьюдента (t_{α})

$n-1 \backslash \alpha$	0,90	0,95	0,98	0,99	0,999
I	6,31	12,7	31,8	63,7	636,6
2	2,92	4,30	6,96	9,92	31,6
3	2,35	3,18	4,54	5,84	12,69
4	2,13	2,78	3,75	4,60	8,61
5	2,02	2,57	3,36	2,03	6,87
6	1,94	2,45	3,14	3,71	5,96
7	1,89	2,36	3,00	3,50	5,41
8	1,86	2,31	2,90	3,36	5,04
9	1,83	2,26	2,82	3,25	4,78
10	1,81	2,23	2,76	3,17	4,59
11	1,80	2,22	2,72	3,11	4,44
12	1,78	2,18	2,68	3,05	4,32
13	1,77	2,16	2,65	3,01	4,22
14	1,76	2,14	2,62	2,98	4,14
15	1,75	2,13	2,60	2,95	4,07
16	1,75	2,12	2,58	2,92	4,02
17	1,74	2,11	2,57	2,90	3,97
18	1,73	2,10	2,55	2,88	3,92
19	1,73	2,09	2,54	2,86	3,88
20	1,72	2,09	2,53	2,85	3,85

Относительная погрешность:

$$\varepsilon = \pm \frac{\Delta a}{a} 100\% .$$

(2.9)

Пример. Пусть, проведя пять измерений толщины пластины микрометром, мы получили $\bar{a} = 2,16$ мм, $\Delta S_n = 0,05$ мм. Задавая $\alpha = 0,95$, мы получаем из табл. 2.2 значение t_α при $n = 5$ и $\alpha^* = 0,95$, равное 2,78. Тогда $\Delta a = t_\alpha \frac{\Delta S_n}{\sqrt{n}}$,

$\Delta a = 2,78 \cdot 2 \cdot 10^{-2} \text{ мм} = 6 \cdot 10^{-2} \text{ мм}$ и $(2,16 - 0,06) \text{ мм} < a < (2,16 + 0,06) \text{ мм}$ или $a = 2,16 \pm 0,06$ мм с надежностью 0,95.

Относительная погрешность: $\varepsilon = \pm \frac{\Delta a}{a} \cdot 100\% = \pm \frac{0,06}{2,16} \cdot 100\% = \pm 2,77\%$.

2.4. Необходимое число измерений

Уменьшить случайную ошибку результата можно двумя приемами: повышением точности измерения и увеличением числа измерений.

Рассмотрим второй прием. Пусть систематическая ошибка измерений, определяемая классом точности прибора, будет δ . Известно, что уменьшать случайную ошибку целесообразно только до тех пор, пока общая погрешность измерений не будет полностью определяться систематической ошибкой. Для этого необходимо, чтобы доверительный интервал, определенный с выбранной степенью надежности, был существенно меньше величины систематической ошибки. Иначе говоря, $\Delta a \ll \delta$. Этому условию удовлетворяет соотношение $\Delta a \ll \frac{\delta}{10}$. Практически обычно можно удовлетвориться гораздо менее жестким требованием $\Delta a \ll \frac{\delta}{3}$ или даже $\Delta a \ll \frac{\delta}{2}$. Надежность обычно не превышает 0,95, хотя иногда требуются и более высокие значения α .

Для оценки необходимого числа измерений дана табл. 2.3, в которой Δa выражено в долях средней квадратичной ошибки.

Т а б л и ц а 2.3

Необходимое число измерений для получения случайной ошибки с надежностью α

$\varepsilon = \frac{\Delta a}{S_n}$	Надежность, α					
	0,5	0,7	0,9	0,95	0,99	0,9999
1,0	2	3	5	7	11	17
0,5	3	6	13	18	31	50
0,4	4	8	19	27	46	74
0,3	6	13	32	46	78	130
0,2	13	29	70	100	170	280
0,1	47	110	270	390	700	1100
0,05	180	430	1100	1500	2700	4300
0,01	4500	1100	27000	38000	66000	110000

Пример. Измеряется диаметр шарика с помощью микрометра, имеющего погрешность $\delta = 1$ мкм.

Средняя квадратичная погрешность измерений равна 2,3 мкм. Сколько измерений нужно проделать, чтобы получить ошибку не более 1,5 мкм с надежностью 0,95?

Положим, $\Delta a = \frac{\delta}{2} = 0,5$ мкм, $\Delta S_n = 2,3$ мкм,

$$\varepsilon = -\frac{\Delta a}{\Delta S_n} = \pm \frac{0,5}{2,3} = 0,22.$$

Из табл. 2.3 находим в колонке $\alpha = 0,95$ для $\varepsilon = 0,3$, $n = 46$ и для $\varepsilon = 0,2$ $n = 99$. Составив пропорцию, получим для $\varepsilon = 0,22$ $n \approx 80$. Надо сделать около 80 измерений.

2.5. Определение ошибок для результатов косвенных измерений

Во многих случаях искомая величина является функцией одной из нескольких измеряемых прямым способом величин. Для определения такой величины необходимо провести ряд непосредственных измерений вспомогательных величин и, пользуясь известными соотношениями, вычислить искомую величину. Зная ошибки непосредственно измеряемых величин, по специальным формулам находят возможную ошибку результата вычислений.

В общем случае, если $Y = f(x)$, то для ошибок, малых по сравнению с измеряемой величиной, можно с достаточной точностью написать:

$$\Delta Y = f'(x) \Delta x. \quad (2.10)$$

Если надо найти величину относительной ошибки, то

$$\frac{\Delta Y}{Y} = \frac{f'(x)}{f(x)} \Delta x. \quad (2.11)$$

Некоторые формулы для вычисления погрешности результатов алгебраических выражений приведены в табл. 2.4.

При обработке результатов косвенных измерений можно все операции выполнять в следующем порядке:

I. Для каждой серии измеренных величин, входящих в определение искомой величины, проводится обработка, как для случая прямых измерений. При этом для всех измеряемых величин задает одно и то же значение надежности α .

Формула для вычисления погрешностей

№ п/п	Математич. операция	Абсолютная погрешность	Относительная погрешность
1	$n = a + b$	$\Delta n = \sqrt{(\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$	$\frac{\Delta n}{n} = \frac{\sqrt{(\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}}{a + b}$
2	$n = a - b$	$\Delta n = \sqrt{(\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$	$\frac{\Delta n}{n} = \frac{\sqrt{(\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}}{a - b}$
3	$n = abc$	$\Delta n = \sqrt{(\Delta a \cdot \Delta b \cdot \Delta c)^2 + (\Delta a \cdot \Delta b)^2 + (\Delta a \cdot \Delta c)^2 + (\Delta b \cdot \Delta c)^2}$	$\frac{\Delta n}{n} = \sqrt{\left(\frac{\Delta a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\Delta c}{c}\right)^2}$
4	$n = \frac{a}{b}$	$\Delta n = \frac{\sqrt{(\Delta a)^2 + (a \cdot \Delta b)^2}}{b}$	$\frac{\Delta n}{n} = \sqrt{\left(\frac{\Delta a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2}$

2. Находится выражение для абсолютной и относительной погрешностей искомой величины в соответствии с конкретным видом функциональной зависимости (см. табл. 2.4).

3. Оцениваются границы доверительного интервала для результата косвенных измерений

$$\Delta f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial a}\right)^2 \Delta a^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial b}\right)^2 \Delta b^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial c}\right)^2 \Delta c^2},$$

где производные $\frac{\partial f}{\partial a}$; $\frac{\partial f}{\partial b}$; $\frac{\partial f}{\partial c}$ вычисляются при $a = \bar{a}$, $b = \bar{b}$, $c = \bar{c}$.

4. Окончательный результат записывается в виде

$$f(a, b, c \dots) = f(\bar{a}, \bar{b}, \bar{c} \dots) \pm \Delta f.$$

5. Определяется относительная погрешность результата серии косвенных измерений: $\varepsilon = \frac{\Delta f}{f} \cdot 100\%$.

2.6. Выявление промахов

Если серия из небольшого числа измерений содержит грубую погрешность—промах, то наличие этого промаха может сильно исказить как среднее значение измеряемой величины, так и границы доверительного интервала. Поэтому, из окончательного результата необходимо исключить этот промах. Обычно промах имеет резко отличающееся от других измерений значение. Однако это отклонение еще не дает право исключить это измерение как промах.

Для оценки высказывающихся значений пользуются величиной

$$v_{max} = \left| \frac{x - x_K}{S_n} \right|, \dots \quad (2.12)$$

где x - среднее арифметическое, S_n - среднее квадратичное, x_K - подозреваемое значение.

В табл. 2.5 указано, какой вероятности β соответствует полученное значение v_{max} при измерении n . Если получили $\beta = 0,01$, то данное x_K - промах и его следует отбросить.

Если $0,1 > \beta > 0,01$, то x_K можно оставить или отбросить.

Если $\beta > 0,1$, то x_K следует оставить.

Т а б л и ц а 2.5

Оценка высказывающихся измерений

$v_{max} = \left| \frac{x - x_n}{S_n} \right|$ в ряду n измерений для вероятности β

n	β		n	β	
	0,1	0,01		0,1	0,01
3	1,41	1,41	15	2,33	2,80
4	1,65	1,72	16	2,35	2,84
5	1,79	1,96	17	2,38	2,87
6	1,89	2,13	18	2,40	2,90
7	1,97	2,27	19	2,43	2,93
8	2,04	2,37	20	2,45	2,96
9	2,10	2,46	21	2,47	2,98
10	2,15	2,54	22	2,49	3,01
11	2,19	2,61	23	2,50	3,03
12	2,23	2,66	24	2,52	3,05
13	2,26	2,71	25	2,54	3,07
14	2,30	2,76			

2.7. Определение ошибки метода измерения

Приблизительную величину ошибки метода измерения можно определить и до проведения измерения. Для нахождения ошибки метода измерения нужно вычислить или найти формулу для абсолютной или относительной ошибки. Затем в эту формулу следует подставить вместо ошибок измерения точность приборов, а вместо непосредственно измеренных на опыте их приблизительные значения.

Такое определение ошибки метода измерений до начала самих измерений помогает экспериментатору подобрать для работы схемы и приборы измерения, обеспечивающие необходимую точность, выбрать значения измеряемых величин.

Предварительный расчет ошибки в некоторых случаях покажет непригодность выбранной методики измерения.

2.8. Некоторые понятия и определения математической статистики

Многие методы исследования металлов, в частности, количественная металлография, основаны на использовании методов математической статистики. Наиболее полное количественное описание структуры металлов или частиц порошков может быть дано с помощью рядов или кривых распределения.

Дадим некоторые понятия и определения математической статистики, необходимые при построении рядов распределения.

Совокупность предметов одного и того же вида называется статистической совокупностью. В нашем случае в качестве статистической совокупности рассматриваются зерна структуры или частицы порошка, которые являются элементами этой статистической совокупности. Объем совокупности определяется числом элементов, т.е. количеством исследуемых зерен или частиц.

Каждый элемент совокупности может быть исследован по ряду свойств. Например, зерна или частицы можно исследовать по поперечному размеру, по площади, по объему, по поверхности, по форме и т.д.

Каждое исследуемое свойство называется признаком. Значение признака, например размер одного зерна или частицы, называется вариантом признака. Число повторений каждого варианта признака, другими словами количество зерен или частиц одного размера, называется абсолютной частотой.

В качестве примера рассмотрим построение ряда распределения при определении размеров зерна или частиц. Результаты измерений заносятся в таблицу, состоящую из номера измерения и его результата.

Первым шагом в обработке статистического материала является обычно установление элементов, имеющих наименьшую и наибольшую величину.

Разность этих величин называется размахом варьирования. Для облегчения изучения статистического коллектива весь интервал (размах варьирования) делят на несколько равных интервалов и рассматривают вместо всего коллектива величины, соответствующие серединам этих интервалов. Число интервалов берется обычно от 8 до 16. Затем подсчитывается число элементов, попадающих в каждый из частных интервалов. Такое число называется абсолютной частотой (n_i).

По найденным n_i находят их отношения к объему коллектива.

Эти отношения называют относительными частотами: $p_i = \frac{n_i}{n}$.

Результаты заносятся в таблицу. Полученные в таблице совокупности средних интервальных значений изучаемой величины и частот этих значений называются распределением. В табл. 2.6 приведен расчет частот для 200 измерений размеров частиц.

Т а б л и ц а 2.6

Подсчет частиц

Интервалы	Средины интервалов X	Ч а с т о т ы		
		абсолют. n_i	относит. $p_i = \frac{n_i}{n}$	накоплен. $\sum p_i$
от 1,5 вкл. до 2,5 искл.	$X_1=2$	6	0,03	0,03
" 2,5 " " 3,5 "	$X_2=3$	10	0,05	0,08
" 3,5 " " 4,5 "	$X_3=4$	20	0,1	0,18
" 4,5 " " 5,5 "	$X_4=5$	34	0,17	0,35
" 5,5 " " 6,5 "	$X_5=6$	60	0,3	0,65
" 6,5 " " 7,5 "	$X_6=7$	34	0,17	0,82
" 7,5 " " 8,5 "	$X_7=8$	20	0,1	0,92
" 8,5 " " 9,5 "	$X_8=9$	10	0,05	0,97
" 9,5 " " 10,5 вкл.	$X_9=10$	6	0,03	1,0

Из данных табл. 2.6 следует, что суммы абсолютных и относительных частот соответственно равны 200 и 1, т. е.

$$\sum_{i=1}^9 n_i = n = 200; \quad \sum_{i=1}^9 p_i = 1.$$

Для наглядности распределения можно изобразить графически (рис.2.3). Получается ступенчатая фигура-гистограмма. Соединяя "нагруженные ординаты" отрезками прямых, получаем полигон распределения.



Р и с . 2.3

2.2. Числовые характеристики распределения

Для нахождения числовых характеристик пользуются так называемыми начальными и центральными моментами. Начальным моментом K -го порядка называют выражение вида

$$a_K = \sum X_i P_i = \frac{1}{n} \sum X_i n_i. \quad (2.13)$$

Начальный момент первого порядка называется также "центром распределения" или средним значением совокупности и обозначается \bar{X} :

$$\bar{X} = a_1 = \sum X_i P_i = \frac{1}{n} \sum X_i n_i.$$

Центральным моментом K -го порядка называется средняя взвешенная арифметическая K -тых степеней отклонений, т.е.

$$m_K = \sum (X_i - \bar{X})^K P_i. \quad (2.14)$$

Центральный момент первого порядка для любого распределения равен нулю. Центральный момент второго порядка называют "эмпиричес-

кой дисперсией^н. Он является характеристикой степени рассеяния значений элементов относительно центра распределения. Его обозначают:

$$D(x) = S^2 = m_2 = \sum (X_i - a_1)^2 p_i, \quad (2.15)$$

где S - стандарт распределения или среднее квадратичное отклонение.
Центральный момент третьего порядка

$$m_3 = \sum (x_i - a_1)^3 p_i. \quad (2.16)$$

Если распределение симметрично относительно центра, то:

$$m_3 = 0.$$

Л и т е р а т у р а : [2 , 4 , 5 , 7 - 10].

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

3.1. Определение линейных размеров зерен металлов и частиц порошков на металлографическом микроскопе

Микроанализ позволяет определить размеры зерен металлов и частиц порошков. В этом случае требуется использовать объект-микрометр и окуляр-микрометр.

Объект-микрометр - это стеклянная пластинка, на которую нанесена шкала длиной 1 мм, разделенная на сто равных частей. Следовательно, цена самого малого деления шкалы объект-микрометра равна 0,01 мм. Объект-микрометр помещают на предметном столике микроскопа и изображение его шкалы проектируют на матовое стекло фотокамеры. Масштабной линейкой или полоской миллиметровой бумаги измеряют на матовом стекле увеличенное изображение всей шкалы объект-микрометра или ее части.

Фотографическое увеличение микроскопа на матовом стекле определяют делением длины увеличенного изображения шкалы на истинную длину.

Окуляр-микрометр используют для измерения линейных размеров разнообразных микроскопических объектов. Окуляр-микрометр представляет собой окуляр, в который вставлен стеклянный круг

со шкалой. У микроскопа МИМ-7 для этого приспособлен окуляр 7^X. Вращая оправку глазной линзы такого окуляра, получают резкое изображение его шкалы на фоне микроструктуры.

О п р е д е л е н и е ц е н ы д е л е н и я о к у л я р - м и к р о м е т р а

Прежде чем производить измерение микрообъектов, необходимо определить цену деления окуляр-микрометра. Цену деления окуляр-микрометра определяют для каждого сочетания объектива и окуляра при помощи объект-микрометра.

Объект-микрометр помещают на предметном столике микроскопа. Наводку на резкость шкалы объект-микрометра осуществляют с помощью макро- и микровинтов. Резкость изображения шкалы окуляр-микрометра достигается вращением оправки глазной линзы окуляра.

После наводки на резкость изображение шкалы объект-микрометра совмещают с изображением шкалы окуляр-микрометра (рис.3.1.).

Это достигается перемещением предметного столика и поворотом всего окуляр-микрометра в окулярном тубусе. При совмещении шкал подсчитывают число делений объект-микрометра, укладывающихся в некоторое возможно большее число делений окуляр-микрометра.

Цена деления окулярной шкалы определяется соотношением:

$$A = \frac{N_{об} \cdot 0,01}{N_{ок}}, \text{ мм. (3.1)}$$

где $N_{об}$ и $N_{ок}$ - число совмещенных делений объект и окуляр-микрометров; 0,01 - цена деления объект-микрометра.



Р и с. 3.1

О п р е д е л е н и е р а з м е р о в з е р е н и л и ч а с т и ц

Для получения исходных данных шлиф ставится на предметный столик микроскопа, снабженный окуляр-микрометром.

В произвольно выбранном поле определяются средние (по поперечному сечению) размеры зерен либо по линейке, либо по микроскопической шкале окуляр-микрометра. Подобная же операция проводится на следующем произвольно выбранном поле и т.д. Рекомендуется делать 200-250 измерений. Результаты заносятся в протокол проведения эксперимента, который оформляется в виде табл. 3.1.

Т а б л и ц а 3.1

Размеры зерен структуры или частиц порошков

Номер поля	II/п	Число делений шкалы или микрометра	Размеры зерен, мкм
I	I	36	18
	2	40	20
	3	28	14
	:	:	:
2	10	52	26
	II	56	28
	:	:	:

Всего: 230

Затем результаты измерений группируются по интервалам величин, рассчитываются абсолютные и относительные частоты и записываются в ряд распределения. По данным ряда распределения строятся гистограммы или кривые распределения, находятся средние размеры частиц, вычисляются характеристики точности измерения.

О п р е д е л е н и е с р е д н е г о д и а м е т р а ,
с р е д н е й п л о щ а д и з е р н а и л и
ч а с т и ц

На основании кривой распределения подсчитывают средний диаметр зерна:

$$D_{cp} = \frac{K \sum m x}{\sum m}, \quad \text{мм}, \quad (3.2)$$

где m - частота группы (т.е. число зерен, приходящихся на определенный интервал шкалы окуляр-микрометра);
 x - диаметр в делениях шкалы (т.е. определенный интервал шкалы);
 K - цена деления шкалы, мм.

Средняя площадь зерна

$$F_{cp} = \frac{K^2 m \left(\frac{\pi D^2}{4m} \right)}{\sum m} \quad (3.3)$$

Количество зерен, приходящихся на 1 мм²

$$N = \frac{1}{F_{cp}} \quad (3.4)$$

Эту величину можно приближенно определить другим способом, путем подсчета зерен на нескольких произвольных полях зрения (табл. 3.1) при определенной величине диаметра поля зрения d_p , мм.

Величина поля зрения определяется с помощью объект- и окуляр-микрометра

$$N' = \frac{\sum_p N_p}{p \frac{\pi d_p^2}{4}}, \quad (3.5)$$

где p - число полей зрения;

$\sum_p N_p$ - суммарное число зерен, подсчитанное на полях зрения p .

Х а р а к т е р и с т и к а ф о р м ы з е р е н и л и ч а с т и ц

При металлографическом исследовании встречаются структуры или порошки с неравнобонной формой зерен или частиц. Одно из определений характеристики формы может быть выполнено по следующей методике. На шлифах образцов определяется два размера зерна или частицы: наибольший ℓ_1 и наименьший ℓ_2 , а также находится отноше-

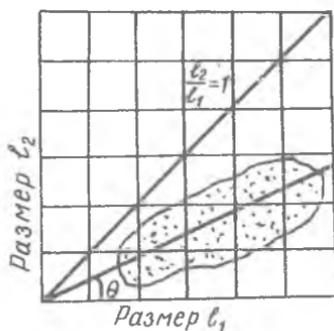
ние l_2/l_1 . Рекомендуется производить замеры примерно у 100 частиц. Результаты записываются в табл. 3.2.

Т а б л и ц а 3.2

Наибольший (l_1) и наименьший (l_2) размеры зерен или частиц

l_1	
l_2	

По данным табл. 3.2 строится поле рассеивания в координатах, подобно изображенному на рис. 3.2.



Р и с. 3.2

Опытные точки укладываются в эллипсе рассеивания и могут быть охарактеризованы прямой, совпадающей с осью эллипса и проходящей через начало координат. Форма частиц характеризуется тангенсом угла наклона прямой к оси абсцисс (угол θ), т.е. величиной наиболее вероятного отношения наибольшего и наименьшего размеров частиц данной совокупности. Эта величина называется показателем формы (ПФ).

Если показатель формы равен I (первый предельный случай), то частицы имеют в среднем равноосную форму. При показателе формы, приближающемся к 0 (второй предельный случай), частицы имеют сильно вытянутую форму. Любое значение ПФ, изменяющееся от 0 до I, характеризует изменение формы частиц.

Мера рассеяния наблюдаемых значений относительно проведенной прямой называется стандартным отклонением оценки:

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum (Y - Y_c)^2}{n}}, \quad (3.6)$$

где Y - опытное значение ординаты точки; n - число точек;
 Y_c - значение ординаты точки, лежащей на прямой.

Чем меньше значение стандартного отклонения оценки, тем более точно показатель формы частиц характеризует форму частиц исследованной совокупности зерен или частиц.

Корреляция может быть нелинейной. В этом случае показатель формы (ПФ) характеризуется не одной, а несколькими величинами.

Л и т е р а т у р а : [11, 12].

3.2. Выявление аустенитного зерна в углеродистой стали

Величина зерна аустенита имеет большое практическое значение, так как от этой характеристики зависят механические свойства стали после ее термической обработки. После охлаждения сталь будет мелкозернистой с хорошими механическими свойствами (в частности, с высоким сопротивлением ударным нагрузкам), если в нагретом состоянии она имела мелкое аустенитное зерно. Крупное зерно аустенита способствует образованию при охлаждении крупных выделений феррита по границам и, как следствие, приводит к низкой ударной вязкости с разрушением по границам зерен.

Явление укрупнения зерен аустенита, в связи с повышением допустимых температур, называется перегревом. Иногда укрупнение зерна сопровождается окислением границ зерен (явление пережога).

Для предотвращения роста зерен аустенита при нагреве до 950–1000°C в сталь вводятся в весьма малых количествах (десятые и сотые доли процента) добавки таких металлов, как титан, ванадий, а чаще всего алюминий. Малые добавки этих элементов действуют как поверхностно-активные вещества: они задерживают рост зерен аустенита, так как образуют труднорастворимые мельчайшие частицы нитридов и др. соединений.

Различают два вида стали: наследственно-мелкозернистую и наследственно-крупнозернистую. Первая характеризуется малой склонностью к росту зерна, вторая – повышенной склонностью.

У крупнозернистой стали ничто не препятствует росту зерна при нагреве выше критической точки A_{c1} , тогда как размер зерна, аустенита в мелкозернистой стали не меняется практически до температур 1000–1100°C.

Выше этих температур устраняются факторы, препятствующие росту зерна аустенита в наследственно-мелкозернистой стали, и зерно начинает быстро расти. Может оказаться, что при очень высоких температурах размер аустенитного зерна окажется у этой стали даже больше, чем в наследственно-крупнозернистой. Поэтому по размеру зерна в данном куске металла еще нельзя определить наследственную зернистость.

Размер зерна, полученный в стали в результате той или иной термической обработки, зависит от действительного зерна аустенита.

Различают начальное, действительное и наследственное (природное) зерно аустенита.

Н а ч а л ь н о е з е р н о определяется размером зерна в момент окончания перлитно-аустенитного превращения.

Д е й с т в и т е л ь н о е з е р н о определяется размером зерна в данный момент. Его величину можно регулировать и получить по своему усмотрению путем изменения режимов термической обработки.

Н а с л е д с т в е н н о е (п р и р о д н о е) з е р н о свидетельствует о склонности аустенита к росту. Величина наследственного зерна определяется путем использования стандартной технологической пробы, которая заключается в нагреве до 925-930°C и выдержке в течение 8 ч при одновременном насыщении аустенита углеродом, для создания цементитной оторочки по границам, с целью выявления этого зерна на микрошлифе при комнатной температуре. Если после указанной пробы сохраняется мелкое зерно, то такая сталь относится к наследственно (природной) мелкозернистой, если получается крупное зерно, то сталь - наследственно-крупнозернистая. Таким образом, эта стандартная проба характеризуется склонностью стали к росту зерна аустенита. Очевидно, для изготовления деталей машин и конструкций лучшей является наследственно-мелкозернистая сталь, в которой не происходит укрупнения зерна при нагреве для получения аустенита.

Величина зерна определяется сравнением микроструктуры со стандартной шкалой по ГОСТ 5639-65. Крупнозернистая сталь соответствует баллам 1-2, мелкозернистая 6-8. Данная шкала является международной, а балл определяется числом зерен, приходящихся на 1 квадратный дюйм при увеличении в 100 раз.

Между номером зерна M (баллом) и числом зерен на квадратный дюйм n существует следующая простая зависимость:

$$n = 2^{\mu-1}. \quad (3.7)$$

Если выразить среднюю величину зерна f в квадратных микронах, то эта зависимость примет вид:

$$f = 500 \cdot 2^{\delta-\mu}. \quad (3.8)$$

Работа выполняется в следующей последовательности:

1. Взять образцы \varnothing 10+15 мм среднеуглеродистой стали одной партии, разделить их на две части. Одну часть образцов отшлифовать и отполировать с торца (изготовить микрошлифы).

2. Все образцы установить на поддон с угольной засыпкой, загрузить в разогретую печь с температурой выше критической точки A_{C3} и выдержать 30 мин.

3. Образцы-микрошлифы закалить, а вторую часть образцов нормализовать (охладить на спокойном воздухе).

4. Из нормализованных образцов приготовить микрошлифы. Травлением выявить ферритную сетку. Величина ячеек выявленной сетки равна величине аустенитных зерен, так как ферритная сетка образуется при охлаждении по границам бывших аустенитных зерен.

5. Закаленные микрошлифы слегка отшлифовать и отполировать. Затем протравить. Черная сетка окислов, оставшаяся по границам бывших аустенитных зерен, выявит действительное зерно аустенита.

6. С помощью металлографического микроскопа МИМ-7 и шкалы баллов величины зерна по ГОСТ 5639-65 оценить размер зерна аустенита, выявленного двумя методами. Уточнение балла зерна M осуществить по формулам (3.7, 3.8). Число просчитанных зерен должно быть не менее 200. Для этого следует просмотреть несколько полей микрошлифа на матовом стекле микроскопа, шкаду на матовом стекле нужно оценить, используя объект-микрометр.

7. Проверить правильность оценки балла зерна методом Дж.Халлиарда. Для этого на матовом стекле микроскопа МИМ-7 карандашом нанести линейный контур, например окружность или квадрат. Подсчитать число зерен, пересеченных этим контуром, и разделить его на длину этого контура, измеренного в плоскости шлифа.

Полученное среднее число пересечений на единицу длины можно рассматривать как эквивалент стандартного номера зерна, который рассчитать по формуле

$$M = 0,64 \lg \left(\frac{Z}{L} \right) - 3,36,$$

(3.9)

где Z - количество зерен, пересеченных контуром;
 L - длина контура в плоскости шлифа, мм.

Для большей точности определения следует просмотреть ряд полей шлифа с тем, чтобы набрать число пересечений Z около 300.

Л и т е р а т у р а: [13 - 17].

3.3. Определение удельной поверхности металлических порошков

Важной характеристикой порошков является величина их удельной поверхности. Под последней понимается суммарная поверхность частиц порошка, отнесенная к единице объема или веса (удельная поверхность по объему S_v в $\text{мм}^2/\text{мм}^3$) или по весу S_c в $\text{мм}^2/\text{г}$. Величина удельной поверхности служит универсальным показателем дисперсности порошка, которым можно пользоваться при любой форме его частиц. Величина избыточной поверхности энергии, определяющая активность порошка к спеканию, непосредственно связана с величиной удельной поверхности. Она характеризует также работу, затраченную на дробление порошка, его коррозионную стойкость, содержание адсорбированных порошком газов и другие важные свойства порошков.

Существует много способов определения величины удельной поверхности порошков. Однако все они являются косвенными, так как удельная поверхность, которая является геометрической величиной, определяется по этим способам путем измерения различных физических параметров, более или менее однозначно связанных с величиной удельной поверхности. Наиболее распространенными являются методы, основанные на измерении скорости фильтрации через порошок жидкостей или газов, а также на измерении количества адсорбированного порошком газа или красителя. Однако скорость фильтрации зависит не только от величины удельной поверхности, но и от формы частиц, их гранулометрического состава. При расчете величины удельной поверхности по количеству адсорбированного порошком вещества дела-

ется произвольное допущение об образовании мономолекулярного слоя этого вещества на поверхности частиц.

Результаты определения величины удельной поверхности, полученные различными методами, дают весьма существенные расхождения. Так, например, удельная поверхность измельченного кварца оказалась равной: по методу Дерягина - 6700, по адсорбции азота - 54000, по адсорбции радиоактивного изотопа $63000 \text{ см}^2/\text{г}$.

Вопрос об измерении "абсолютных" величин удельной поверхности полностью еще не решен. Поскольку удельная поверхность является геометрической величиной, наиболее достоверные результаты могут быть получены при измерении ее геометрическими методами анализа. Только в этом случае мы можем правильно оценить надежность различных косвенных методов измерения удельной поверхности. Таким методом прямого геометрического измерения удельной поверхности является метод стереометрической металлографии, разработанный С.А.Салтыковым.

Этот метод является статистическим и поэтому обеспечивает практически достаточную степень точности. Сущность метода состоит в том, что под микроскопом просматривается достаточно большое число случайных сечений частиц порошка и на основе разработанных приемов стереометрической металлографии ведется подсчет определенных структурных характеристик, необходимых при последующей математической оценке величины удельной поверхности.

Чтобы получить случайные сечения частиц порошка, прежде всего необходимо изготовить псевдосплав из порошка и наполнителя, который ни химически, ни механически не должен воздействовать на форму частиц порошка. Из этого псевдосплава обычными способами изготавливается микрошлиф, который затем анализируется под микроскопом. Желательно, чтобы количество порошка составило 20-40% (по объему) и чтобы его частицы располагались достаточно равномерно в объеме псевдосплава.

Увеличение микроскопа должно быть тем больше, чем дисперснее порошок. Обычно удельная поверхность может определяться оптически микроскопами, а в случае необходимости - электронными.

Работа выполняется в следующей последовательности.

I. Для исследования взять порошок, кусочек металлической трубки диаметром 15-20 мм и высотой около 20 мм, эпоксидную смолу и отвердитель, а также стеклянную пластину. В определенное место налить объемом до 3 см^3 эпоксидную смолу, а затем в нее внести

несколько капель отвердителя (при объемном соотношении 10:1). Тщательно смешать, используя тонкий стержень, отвердитель с эпоксидной смолой, добиваясь "молочного" цвета, при этом возможно дополнительное введение отвердителя. В приготовленную смесь насыпать около 40% исследуемого порошка от ее объема. После смешивания полученный псевдосплав из порошка и наполнителя перенести в металлическую трубку, которая прикреплена по внешнему контуру пластилином к стеклянной пластинке. В таком виде псевдосплав оставляется на 24 часа для затвердения. Микрошлиф из затвердевшего псевдосплава изготавливается обычными методами шлифования и полирования.

2. Подготовить металлографический микроскоп МММ-7 к проведению исследований. Взять окуляр с квадратной сеткой либо нанести такую сетку на матовое стекло микроскопа с шагом 5 мм (можно сделать рамку, на которую натянуть нити. Эту рамку в квадратной сеткой из нитей вставить в паз матового стекла). Взять объект-микрометр ОМО, имеющий шкалу, нанесенную на алюминизированную поверхность стеклянной пластинки. Шкала имеет сто делений с ценой одного деления 0,01 мм. С помощью объект-микрометра определить цену деления квадратной сетки при выбранном увеличении микроскопа:

$$A = \frac{n}{N} 0,01,$$

где A - шаг квадратной сетки (цена деления сетки);

n - целое число делений объект-микрометра, укладывающихся в целом числе делений сетки N .

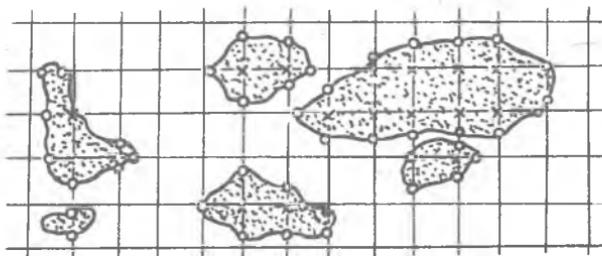
Увеличение микроскопа выбирается в зависимости от размера частиц порошка таким образом, чтобы осуществить уверенный подсчет структурных характеристик (длин секущих, точек пересечений, узловых точек). Чем больше увеличение, тем точнее результат. Недостаточное увеличение приводит к получению заниженных результатов. Необходимо выбрать такое увеличение, при котором размер частиц исследуемого порошка больше цены деления квадратной измерительной сетки.

Обычно для металлических порошков с малоразвитой поверхностью, в частности распыленных, достаточно увеличение до 500 раз.

Для порошков высокодисперсных с сильно развитой поверхностью, карбонильных и восстановленных при температуре ниже порога рекристаллизации компактного металла следует использовать электронные микроскопы с увеличением в 10000-20000 раз.

3. Величина удельной поверхности по объему является отношением суммарной поверхности, представленной группы частиц порошка к их суммарному объему. Суммарная поверхность группы частиц измеряется под микроскопом на шлифе псевдосплава из порошка и наполнителя методом случайных секущих, а суммарный объем тех же частиц определяется точечным методом. Определение удельной поверхности производится следующим методом.

Шлиф псевдосплава просматривать под микроскопом с окуляром, либо с матовым стеклом, имеющим квадратную сетку. Линии сетки (случайные секущие) пересекают поверхность частиц порошка в ряде точек, которые на рис. 3.3 обозначены кружками.



Р и с. 3.3

Число точек пересечений случайных секущих с поверхностями частиц, отнесенное к единице длины секущих, строго однозначно связано с величиной суммарной поверхности частиц в единице объема сплава следующей математической зависимостью:

$$\sum S = 2 \frac{Z}{L} \text{ мм}^2/\text{мм}^3, \quad (3.11)$$

где $\sum S$ - величина суммарной поверхности частиц в единице объема;

Z - число точек пересечений секущих с периметрами сечений частиц порошка (на рис. 3.3 они обозначены кружками);

L - суммарная длина всех секущих (горизонтальных и вертикальных линий квадратной измерительной сетки), мм.

Число узловых точек сетки окуляра, попавших в сечение частиц, отнесенное к общему числу узловых точек измерительной сетки, связа-

но с суммарным объемом частиц порошка в единице объема псевдосплава математической зависимостью

$$\sum V = \frac{x}{X}, \quad \text{мм}^2/\text{мм}^3, \quad (3.12)$$

где $\sum V$ - суммарный объем частиц порошка в единице объема псевдосплава;

x - число узловых точек (в данном поле зрения) на сечениях частиц порошка (на рис.3.3 они обозначены крестиками);

X - общее число узловых точек измерительной сетки.

Эта формула, так же как и предыдущая, основана на положениях теории вероятностей и является математически вполне строгой.

Подсчет чисел Z и x следует производить в ряде полей зрения, так как результат подсчета в единичном поле зрения микроскопа будет случайным и может сильно отличаться от действительных величин поверхности и объема частиц.

Опыт стереометрической металлографии показывает, что в большинстве случаев можно ограничиться подсчетом 200-250 узловых точек X и не меньшим числом точек пересечения секущих Z . Увеличение числа точек повышает надежность и точность анализа, но для практических целей достаточно указанного числа.

Подсчет точек, характеризующих как величину поверхности частиц порошка Z , так и их объем, производить в одних и тех же сечениях частиц, как это показано на рис. 3.3, чтобы исключить влияние неравномерности распределения частиц порошка в объеме псевдосплава на точность получаемых результатов. На основании величин, найденных по формулам (3.11, 3.12), вычислить величину удельной поверхности порошка по объему: $S_V = \frac{\sum S}{\sum V}$, мм²/мм³.

4. При проведении подсчетов запись производится в специальную таблицу, в которой обобщаются значения всех определяемых величин.

В табл. 3.3. для наглядности даны результаты определения удельной поверхности порошка олова в 30 полях зрения микроскопа. В отдельных полях зрения результаты колеблются в широких пределах, однако накопленная средняя величина удельной поверхности по подсчету во всех предыдущих и в данном поле зрения

Т а б л и ц а 3.3

Характеристика подсчитываемых величин
при определении удельной поверхности порошка

Поле зрения микроскопа	Число точек x	Число точек z	Суммарная поверхность частиц $\Sigma S, \text{мм}^2$	Суммарный объем частиц $\Sigma V, \text{мм}^3$	Удельная поверхность для данного поля зрения $S_V, \text{мм}^2/\text{мм}^3$	Накопленная средняя удельная поверхность $S_V, \text{мм}^2/\text{мм}^3$
1					123	123
2					618	370
3					194	312
4					247	295
5					99	256
:					:	:
30	185	303			185	202

$$S_V = \frac{\Sigma S_V^{tg}}{n}, \quad (3.14)$$

где n - число полей зрения,

ΣS_V^{tg} - сумма значений удельной поверхности, определенной по отдельному полю зрения микроскопа, быстро стабилизируется и при числе полей зрения свыше 20 практически остается постоянной.

Всего в 30 полях зрения подсчитано 303 точки пересечения z и 185 узловых точек x .

5. Произвести пересчет полученного значения удельной поверхности по объему S_V на значение удельной поверхности по весу по формуле

$$S_G = \frac{10^3 S_V}{\rho}, \quad (3.15)$$

где S_V дано в $\text{мм}^2/\text{г}$; ρ — пикнометрическая плотность порошка, $\text{г}/\text{см}^3$, т.е. фактическая плотность порошка, отличающаяся от теоретической плотности материала порошка из-за наличия пористости, окислов и т.д.

Пикнометрическая плотность некоторых отечественных металлических порошков приведена в табл. 3.4.

Т а б л и ц а 3.4

Пикнометрическая плотность металлических порошков

Тип порошка	Плотность, $\text{г}/\text{см}^3$	Теоретическая плотность, $\text{г}/\text{см}^3$
Железо, восстановленное АПЖМ	7,67 — 7,70	7,86
— " — вихревое, отожженное	7,78 — 7,80	7,86
— " — электролитическое, отожженное	7,71 — 7,75	7,86
— " — Сулинского завода	7,72—7,76	7,86
Медь восстановленная	8,74 — 8,77	8,93
Никель восстановленный	8,71 — 8,74	8,96
$\text{Ni} + 18\% \text{O}_2$	8,28 — 8,31	—
$\text{Ni} + 20\% \text{O}_2$	7,36 — 7,39	—

При отсутствии значений пикнометрической плотности порошка можно воспользоваться значениями теоретической плотности материала порошка, но при этом значение S_V будет несколько заниженным.

6. Проверить полученные результаты значений удельной поверхности путем аналитического расчета. Условно для расчета форму частиц порошка принять сферической.

Для этого следует вычислить величины поверхности и объема частицы заданного диаметра:

$$S = \pi d^2. \quad (3.16)$$

$$V = \frac{1}{6} \pi d^3. \quad (3.17)$$

Так как все частицы порошка принимаются одного размера и формы, то значение S_V в $\text{мм}^2/\text{мм}^3$ будет

$$S_V = \frac{S}{V} = \frac{6}{d}. \quad (3.18)$$

Значение удельной поверхности, определенной методом стереометрической металлографии, должно быть больше расчетного для идеальных шариков.

Л и т е р а т у р а : [18 - 21].

3.4. Определение гранулометрического состава тонких порошков

Физико-механические свойства металлических порошков существенно влияют на свойства спрессованных заготовок и спеченных изделий. При решении вопроса о подборе наиболее подходящих порошков для изготовления тех или иных изделий или выборе метода их производства следует руководствоваться химическим составом, физическими и технологическими свойствами порошков.

Химические свойства порошков характеризуются содержанием основного металла или металлов (в случае сплавов), примесей, загрязнений и газов в химически связанном, адсорбированном или растворенном состоянии.

Физические свойства порошков определяются следующими основными характеристиками: формой частиц, средней величиной частиц и распределением их по крупности (гранулометрическим составом), удельной поверхностью частиц, пикнометрической плотностью, микротвердостью, состоянием кристаллической решетки частиц порошка.

В технических условиях обычно оговаривается только распределение частиц по фракциям - гранулометрический состав.

Технологические свойства порошка характеризуются: насыпным весом (весом единицы объема сыпучего тела), текучестью и прессуемостью. Эти три характеристики являются функцией всех других свойств порошков, и они оговариваются в технических условиях.

Таким образом, одной из важнейших характеристик физических свойств порошка является гранулометрический состав или относительное содержание фракций частиц различной крупности. Его представляют в виде таблицы или изображают графически - в виде кривой распределения. Применяемые в порошковой металлургии металлические порошки имеют частицы размером от долей микрона до десятых долей миллиметра и могут быть подразделены на следующие категории:

Категория порошков:	Размер частиц, мкм
Грубые	150 - 500
Средние	40-150
Тонкие	10-40
Весьма тонкие	0,5 - 10
Сверхтонкие	менее 0,5

Гранулометрический состав порошков в зависимости от крупности частиц можно определить микроскопическим, ситовым, седиментационным и электронномикроскопическим анализами.

Ситовый анализ применяется для определения гранулометрического состава грубых и средних порошков и заключается в последовательном просеивании определенной навески порошка через ряд сит с различной величиной отверстий.

Седиментационный анализ применяется для определения гранулометрического состава тонких порошков. Физической основой служит способность частиц, падающих в вязкой среде, приобретать постоянную скорость падения. Измеряя эту скорость, можно определить диаметр падающих частиц по известному закону Стокса:

$$v = \frac{2}{9} z^2 \left(\frac{\rho_c - \rho_{жс}}{\eta} \right) g, \quad (3.19)$$

где v - скорость оседания частиц, см/с;

z - радиус частиц, см;

ρ_c - плотность частиц, г/см³;

$\rho_{жс}$ - плотность жидкой среды, г/см³;

$\eta_{жс}$ - вязкость, г/см·с;

$\frac{z}{g}$ - ускорение силы тяжести, см²/с.

Как видно из этой формулы, в первую очередь и с наибольшей скоростью будут оседать наиболее крупные частицы, последними - самые мелкие.

Микроскопический анализ применяется для определения гранулометрического состава тонких и весьма тонких порошков. Он заключается в том, что приготовленный препарат порошка рассматривается в микроскоп, причем вместо окуляра в тубус микроскопа устанавливается окуляр-микрометр, т.е. окуляр с нанесенной на него шкалой. С помощью этой шкалы измеряют величину отдельных зерен.

Точность метода зависит от количества измеренных частиц, качества приготовленного препарата и точности измерения. Препарат должен быть изготовлен из пробы, вполне характеризующей данный по-

рошок. Микроскопический анализ дает значительно более точные результаты, чем ситовой. Преимуществом микроскопического анализа является возможность определения степени конгломерированности и формы зерен. Современные световые микроскопы имеют увеличение до 600 крат, а с применением иммерсионной жидкости до 1200 крат.

Электронномикроскопический анализ применяется для определения гранулометрического состава весьма тонких и сверхтонких порошков. Современные электронные микроскопы имеют увеличение от 3000 до 100000 раз. Для исследования в электронном микроскопе порошки должны быть нанесены на тонкую пленку-подложку и закреплены специальными способами.

Работа выполняется в следующей последовательности.

I. Отобрать пробу порошка. Взять навеску исследуемого порошка - 10 г, тщательно перемешать проволочкой на стекле и, сделав из него бороздку длиной 7-8 см, разделить на 7-8 равных частей. Каждую четную часть удалить, а нечетную сократить таким же способом до тех пор, пока не останется 1 г порошка. Из полученной пробы взять минимальное количество порошка - 0,01 г и перенести на предметное стекло. На стекло нанести каплю глицерина, скипидара или репейного масла, осторожно распределить частицы порошка равномерно по поверхности стекла и накрыть каплю покровным стеклом. Правильно приготовленный препарат не должен содержать конгломератов и скоплений частиц. В качестве препарата можно также использовать микрошлиф частиц порошка, изготовленный из порошка и наполнителя. В качестве твердеющего наполнителя следует брать полимеризующиеся смолы, например, эпоксидную смолу с отвердителем. Эту смолу (в соотношении 10:1) тщательно смешивают с отвердителем, а затем с исследуемым порошком, которого в псевдосплаве должно быть 20-40% (по объему). После смешивания жидкий псевдосплав перенести в металлическую трубку диаметром 15-20 мм и такой же высоты, укрепленной на стеклянной пластинке по внешнему контуру пластилином. После 24 часов выдержки микрошлиф из затвердевшего псевдосплава изготовить обычным методом шлифования и полирования. На приготовленном микрошлифе частицы порошка могут быть сошлифованы в любой степени и в различных направлениях. В связи с этим непосредственное определение размеров этих частиц невозможно, и их размеры необходимо рассчитать по формуле Зауэрвальда:

$$d_{cp} = 0,64 D, \quad (3.20)$$

где d_{cp} - средний размер диаметра частицы порошка, наблюдаемого в сечении микрошлифа псевдосплава;
 D - средний размер действительного (объемного) диаметра частицы порошка данной фракции.

2. Подготовить микроскоп к исследованию. Подобрать такое увеличение микроскопа, чтобы наибольшие частицы порошка занимали до 3-4 делений шкалы окуляр-микрометра при увеличениях 200-600крат. Цена деления окуляр-микрометра составляет 1,5-6 мкм и рассчитывается с помощью объект-микрометра. Количество частиц в поле зрения микроскопа должно быть таким, чтобы на всей линейке шкалы находилось до 10-20 зерен крупнее 1 деления. Перед подсчетом проверить правильность наводки микроскопа на фокус: зерна должны быть видны совершенно четко, без "ореолов", мешающих измерению.

3. Провести измерения диаметров частиц порошка с помощью окуляр-микрометра (винтового) МОВ-1-15^X, который имеет собственный компенсационный окуляр с увеличением 15 крат, неподвижную миллиметровую шкалу с восемью делениями, а также подвижную сетку с перекрестием и двойным штрихом. Передвижение сетки осуществлять посредством микрометрического винта с шагом 1 мм. Барабан винта имеет сто делений с ценой деления 0,01 мм. Таким образом, за один оборот винта сетка с перекрестием передвигается на одно деление неподвижной шкалы, по которой отсчитываются целые миллиметры, тогда как дробные части отсчитываются по барабану. Цена деления окуляра винтового микрометра относится только к плоскости изображения микроскопа. Цена деления барабана в плоскости изображения объекта должна определяться с помощью объект-микрометра ОМО для каждого объектива отдельно. Для фокусировки на шкалу и подвижную сетку окуляр имеет диоптрийную наводку в пределах ± 5 диоптрий. Окулярный микрометр закрепляется на тубусе микроскопа с помощью имеющегося на корпусе микрометра хомутика с винтом. При работе с микрометром окуляр микроскопа не используется.

Запись результатов измерений производится в виде таблицы (см. табл. 3.5). Следует измерять и подсчитывать только те частицы, которые лежат непосредственно на делениях шкалы окуляр-микрометра: сначала частицы размером менее половины деления шкалы, затем частицы размером от 1/2 до 1 деления и т.д. В случае большого количества самых мелких частиц (более 30-50 на шкалу), их нужно подсчитать на части шкалы, а затем полученные цифры пропорционально увеличить.

Т а б л и ц а 3.5

Результаты микроскопического анализа порошка
(увеличение микроскопа 280, цена деления
окуляр-микрометра 5.1 мкм)

Номер поля	Положение шкалы на поле	Интервалы в делениях шкалы				
		0-1/2	1/2-1	1 - 2	2 - 3	3 - 4
		Интервалы в мкм				
		0-2,55	2,55-5,1	5,1-10,2	10,2-15,3	15,3-20,4
		Количество частиц по интервалам или абсолютные частоты				
1	1	40	25	10	3	2
	2	50	30	5	2	-
	3	48	32	3	5	-
	4	80	20	-	-	-
	5	30	15	5	1	2
2	1	35	20	5	3	-
	2	48	28	10	2	-
	3	70	40	15	-	1
	4	65	35	7	-	-
Всего частиц по интервалам, n_i		466	245	60	19	4
Суммарное количество частиц по всем интервалам, n		794				

Частицы обычно имеют различную форму, поэтому для измерения следует выбрать какую-либо наиболее характерную для частиц величину, например, основание треугольника (если частицы треугольной формы), длину прямоугольника (если частицы прямоугольной формы) и т.д. После подсчета всех частиц шкалу окуляр-микрометра повернуть на некоторый угол и вновь произвести расчет. Таким образом, на одном поле допускается подсчет частиц при трех-четырех положениях шкалы, после чего подсчет частиц можно производить на другом поле. Общее количество измеренных частиц размером более одного деления должно быть не менее 150-200.

4. Рассчитать гранулометрический состав порошка, который представляет собой относительные частоты статистической совокупности всех частиц, по формуле:

$$P_i = \frac{n_i}{n} 100, \quad (3.21)$$

где P_i - относительные частоты или гранулометрический состав порошка, %;

n_i - количество частиц порошка в одном интервале размеров, т.е. одной фракции;

n - суммарное количество частиц по всем интервалам (для всех фракций) или статистическая совокупность.

5. Пересчитать гранулометрический состав порошка на объемное содержание каждой фракции по формуле

$$K_i = \frac{n_i V_{срi}}{\sum_i n_i V_{срi}}, \quad (3.22)$$

где K_i - относительная объемная доля частиц одной фракции или относительные частоты по объему, %;

$V_{срi}$ - средний объем одной частицы данной i -й фракции, мкм^3 ;

$\sum_i n_i V_{срi}$ - суммарный объем частиц всех фракций, мкм^3 .
Для частиц шаровой формы объем

$$V_{срi} = \frac{\pi d_{срi}^3}{6}, \quad (3.23)$$

где $d_{срi}$ - средний диаметр частиц данной i -й фракции

$d_{срi}$, равный среднему значению интервала, мкм .

Полученные результаты представлены в табл. 3.6.

Т а б л и ц а 3.6

Гранулометрический состав порошка и объемное содержание фракций

Интервалы или фракции, мкм	Среднее значение интервала или частиц, мкм	Средний объем частиц, мкм^3	Гранулометрический состав или относит. частоты, %	Относительный объем частиц, %
0 - 2,55	1,275	2,05	58,7	0,9
2,55-5,1	3,825	57,0	30,0	13,5
5,1-10,2	7,650	450,0	7,5	25,1
10,2-15,3	12,75	2030,0	2,4	37,7
15,3-20,4	17,85	5700,0	0,5	21,9

Относительный объем частиц каждой фракции также характеризует относительное весовое содержание каждой фракции в порошке.

Результаты расчетов гранулометрического состава и относительного объема представить в виде гистограмм и кривых распределения.

Л и т е р а т у р а : [18 - 22].

3.5. Измерение твердости

Под твердостью понимают свойство материала оказывать сопротивление при местных контактных воздействиях пластической деформации или хрупкому разрушению в поверхностном слое в определенных условиях испытания.

Существует ряд методов измерения твердости, которые значительно отличаются друг от друга.

Выбор метода определения твердости диктуется различными факторами: величиной твердости испытуемого образца, размерами детали, толщиной испытуемого слоя для детали и т.д.

Испытание на твердость благодаря своей простоте, а также возможности производить испытание на готовых изделиях без их разрушения и повреждения получило очень широкое распространение как на заводах, так и в научно-исследовательских лабораториях.

Методика определения твердости по Бринеллю состоит в том, что, пользуясь специальным прессом (прессом Бринелля), в испытуемый металл под определенной нагрузкой P вдавливается стальной закаленный шарик диаметром D , и по величине полученного отпечатка d судят о твердости.

Число твердости по Бринеллю определяется отношением нагрузки, действующей на шарик, к поверхности полученного отпечатка, т.е.

$$HB = \frac{P}{F}, \quad (3.24)$$

где HB - число твердости по Бринеллю, в кгс/мм²;

P - нагрузка, в кгс;

F - шаровая поверхность отпечатка (сегмент), в мм².

Как известно из геометрии, поверхность шарового сегмента

$$F = \pi D H, \quad (3.25)$$

где D - диаметр шарика; H - глубина отпечатка.

Так как удобнее измерять не глубину отпечатка, а его диаметр, то, выражая глубину отпечатка через его диаметр и диаметр шарика, получаем

$$F = \frac{\pi D - (D - \sqrt{D^2 - d^2})}{2} \quad (3.26)$$

Подставив полученное значение F , будем иметь

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{P}{\frac{\pi D H}{2}} = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (3.27)$$

Таким образом, по формуле можно определить числа твердости по Бринеллю HB, исходя из измерения диаметра отпечатка, зная заранее диаметр шарика и нагрузку.

Однако этих вычислений каждый раз не делают, а определяют твердость по таблице, составленной на основании формул для разных диаметров отпечатков. Поэтому при испытании по Бринеллю, учитывая закон подобия, а также и то обстоятельство, что диаметр шарика подбирается в зависимости от толщины испытуемого образца металла и что для металлов разных твердостей нужно прилагать разные нагрузки, применяют соотношения по ГОСТ, приведенные в табл. 3.7.

Т а б л и ц а 3.7

Материал	Твердость, HB	Толщина испытуемого металла, мм	D D^2	Диаметр шарика, мм	Нагрузка P, кгс	Выдержка под нагрузкой, с
Черные металлы	I40-I5	От 6 до 3	30	10,0	3000	10
		От 4 до 2	30	5,0	750	
		Менее 2	30	2,5	187,5	
То же	< I40	Более 6	10	10,2	1000	10
		От 6 до 3	10	5,0	250	
		Менее 3	10	2,5	62,5	
Цветные металлы и сплавы	> I30	От 6 до 3	30	10,0	3000	30
		От 4 до 2	30	5,0	750	
		Менее 2	30	2,5	187,5	
То же	35-I30	От 9 до 3	10	10,0	1000	30
		От 6 до 3	10	5,0	250	
		Менее 3	10	2,5	62,5	
То же	8-35	Более 6	2,5	10,0	250	60
		От 6 до 3	2,5	5,0	62,5	
		Менее 3	2,5	2,5	15,6	

Для получения различных нагрузок на приборе устанавливают грузы с таким расчетом, чтобы сумма намаркированного условного веса их и подвески составила величину требуемой нагрузки. Надо учитывать, что рычажная система с подвеской создаёт нагрузку 187,5 кгс.

Для проведения испытания на приборе ТШ-2 необходимо положить образец на стол и вращением маховика поджимать к шарик до тех пор, пока он не упрется в ограничитель. Центр шарика при этом должен находиться от края образца на расстоянии не менее 2,5 диаметров, а от центра соседнего отпечатка не менее 4 диаметров шарика. Нажимом на кнопку «включить электродвигатель». По окончании испытания (после погашения лампочки и остановки электродвигателя) вращением маховика стол с образцом опускается.

Отпечаток на образце с помощью микроскопа замеряется в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Берется среднее арифметическое. Точность измерения диаметров отпечатков при испытании должна быть не менее 0,05 мм. Диаметр отпечатка должен находиться в пределах от 0,2 до 0,6 диаметра шарика.

Определение твердости по Роквеллу применяется для измерения твердости отожженной и закаленной стали, имеющей твердость от 60 до 800 единиц по Бринеллю. Сущность метода состоит в том, что в качестве вдавливаемого тела применяется алмазный конус с углом при вершине 120° или стальной закаленный шарик диаметром 1/16 дюйма (1,58 мм). В табл. 3.8 указаны нагрузка и вид наконечника в зависимости от твердости исследуемого материала.

Т а б л и ц а 3.8

Примерная твердость по Бринеллю, HB	Обозначение шкалы на приборе Роквелла	Вид наконечника	Нагрузка, кгс	Обозначение твердости по Роквеллу	Допускаемые пределы шкалы
60 - 230	B	Стальной шарик	100	HRB	25-100
230/700	C	Алмазный конус	150	HRC	20-67
Выше 700	A	- " -	60	HRA	Выше 70

По способу Роквелла измеряется глубина отпечатка. Для численной характеристики твердости введена условная шкала с цифрами, нанесенными в порядке, обратном движению стрелки в момент приложения груза, причем, внедрение наконечника на 0,002 мм соответствует перемещению стрелки на одно деление. Если стрелка сделает один оборот от начального положения, то конус или шарик внедрится на 0,2 мм. Следовательно, чем углубление больше, тем твердость меньше. Числа твердости по Роквеллу, выраженные в условных единицах отвлеченным числом, связываются с углублением n формулами:

$$HRC = 100 - \frac{n}{0,002} \quad (\text{для шкалы C}), \quad (3.28)$$

$$HRB = 130 - \frac{n}{0,002} \quad (\text{для шкалы B}). \quad (3.29)$$

На циферблате прибора имеются две шкалы: красная и черная. На красной шкале, смещенной относительно нулевого деления черной шкалы на 30 делений, производится отсчет единиц твердости при применении шарика.

Испытание на приборе Роквелла производится следующим образом. Подвешивают груз и вставляют в оправку шарик или алмаз согласно табл. 3.8. Испытуемый образец кладут на столик прибора (предварительно зачистив у образца оба торца). При помощи штурвала образец подводится к алмазному конусу (шарику) и слегка вдавливается в него (при этом сжимается пружина, до достижения предварительной нагрузки 10 кгс, что отмечается на циферблате установкой маленькой стрелки против красной точки). Предварительная нагрузка 10 кгс дается с целью установления плотного соприкосновения между алмазом (шариком) и образцом. Когда маленькая стрелка установится против красной точки, необходимо повернуть ободок индикатора так, чтобы ноль черной шкалы (или деление В30 красной шкалы) совпали с большой стрелкой. После этого легким нажимом на рукоятку включается основная нагрузка. На приборе типа ТК-2 снятие основной нагрузки производится автоматически. Большая стрелка будет указывать величину твердости по Роквеллу.

Для большей надежности результатов опыта измерение обычно повторяют. Однако даже многократное повторение опыта в одинаковых условиях приводит к получению близких, но отличающихся друг от друга величин.

3.6. Определение микротвердости металлов

Метод микротвердости предназначен для определения твердости очень малых (микроскопических) объемов материалов. Его применяют для измерения твердости мелких деталей, тонкой проволоки, фольги, поверхностных слоев, частиц порошков и т.д. Главное его назначение - оценка твердости отдельных фаз или структурных составляющих сплавов.

При измерении микротвердости пользуются обычным методом вдавливания в исследуемую поверхность твердого наконечника. В качестве наконечника используют правильную четырехгранную алмазную пирамиду с углом при вершине 136° . Эта пирамида плавно вдавливается в образец при нагрузках от 2 до 200 гс. Выбор места замера твердости и измерение диагонали отпечатка проводится с помощью оптического микроскопа. Микроскоп и приспособление для измерения микротвердости сочетаются в одном приборе. В СССР серийно выпускают приборы марок ПМТ-3 и ПМТ-5. Микротвердость определяется делением нагрузки P на площадь поверхности отпечатка с диагональю d .

$$H_{\mu} = \frac{P}{F_{\text{отп}}} = 2 \sin \frac{\alpha}{2} \frac{P}{d^2} = 1,854 \frac{P}{d^2}, \quad (3.30)$$

где α - угол при вершине алмазной пирамиды.

При испытании измеряют диагональ отпечатка d и, как правило, по соответствующим таблицам для данной нагрузки P получают микротвердость H_{μ} кгс/мм². Испытания производят на специально подготовленном шлифе. Измерение диагонали отпечатка производится винтовым окулярным микрометром АМУ-3 с увеличением 15 крат. Цена деления шкалы барабана микрометра при различных увеличениях микроскопа определяется с помощью объект-микрометра, установленного на приборе вместо микрошлифа. При использовании 40-кратного объектива в сочетании с 15-кратным окуляром цена деления составит примерно 0,31 мкм при общем увеличении микроскопа 485 крат.

Для обеспечения точного замера микротвердости прибор должен быть тщательно юстирован. Задача юстировки - точное совмещение оптической оси микроскопа с осью нагружения при повороте предметного

столика на 180° . При этом необходимо добиться, чтобы отпечаток наносился именно на то место, которое было выбрано под микроскопом. Центрирующее устройство, позволяющее перемещать объектив в горизонтальной плоскости, производится в действие специальными винтами (см. инструкцию к прибору ПМТ-3). Схема центровки приведена на рис. 3.4.



Р и с. 3.4

Сначала устанавливают перекрестие нитей окуляр-микрометра точно в центре поля зрения микроскопа. Для этого перемещающийся при вращении барабанчика окуляр-микрометра сдвоенный штрих должен находиться против цифры 4 неподвижной шкалы окуляра, а нуль шкалы барабанчика — точно против риски. Затем перемещением предметного столика со шлифом подводят под перекрестие выбранное для испытания место (зерно, частица порошка) (рис. 3.4, а). Далее наносят отпечаток А. Однако если прибор не отцентрирован, отпечаток получится в стороне от перекрестия (рис. 3.4, б).

С помощью центровочных винтов (см. инструкцию к прибору ПМТ-3) перемещают перекрестие до тех пор, пока оно не совпадет с центром полученного отпечатка. Затем вновь выбирают место и наносят отпечаток Б. Вновь сделанный отпечаток Б должен быть точно в заданном месте. Если этого не произойдет, все операции повторяют сначала. После юстировки прибора приступают к измерению микротвердости.

Работа выполняется в следующей последовательности.

1. Изучить инструкцию прибора ПМТ-3.
2. Приготовить микрошлиф или поверхность образца. Высота образца не должна превышать 90 мм вместе со специальной подставкой.

3. С помощью пресса установить образец в пластилине на подставке. Использование пресса и пластилина позволяет добиться параллельности плоскостей шлифа, подставки и предметного столика.

4. Установить по высоте механизм нагружения. Необходимо добиться такого положения, чтобы без нагрузки на поверхности не появлялись отпечатки, а при нагрузке 0,5 гс появился бы очень маленький отпечаток.

5. Подобрать нагрузку и установить нужные грузы на механизмы нагружения. Нагрузку подбирают в зависимости от твердости материала шлифа и размеров испытуемого образца. Нагрузка на индикатор должна быть такой, чтобы диагональ отпечатка была в 4-6 раз меньше размера измеряемого элемента структуры. Оптимальная длина диагонали отпечатка - 30-50 делений барабанчика окуляр-микрометра (при использовании 40-кратного объектива). Для конструкционных материалов чаще всего применяют нагрузку 20 и 50 гс.

6. Нанести отпечаток. Для нанесения отпечатка испытуемый образец устанавливают под микроскопом и выбирают на нем место, в котором необходимо измерить микротвердость. Затем поворотом предметного столика на 180° до упора перемещают образец под острие алмазной пирамиды. Медленным поворотом ручки (10-15 с) механизма нагружения индентор опускается на поверхность шлифа. После выдержки под нагрузкой в течение 5 с ручка возвращается в исходное положение и отпечаток поворотом предметного столика в обратном направлении подводится под микроскоп.

7. Замерить диагональ отпечатка. Результаты занести в рабочую табл. 3.9.

Т а б л и ц а 3.9

Размеры диагонали отпечатка

№	n_H	n_K	Число делений диагонали, n	d , мкм
1				
2				

В табл. 3.9 n_H - число делений барабанчика окуляр-микрометра при начальном положении перекрестия или двойной риски; n_K - то же, при конечном положении перекрестия или двойной риски;

$\Delta n = n_K - n_H$ - число делений диагонали; $d = \Delta n A$ - размер

диагонали, в мкм; A — цена деления микровинта.

Для определения числа микротвердости по длине диагонали при разных нагрузках применяются специальные таблицы и номограммы.

П р и м е ч а н и е. Точность измерения диагонали отпечатка при различных нагрузках рекомендуется проверить путем испытания микротвердости свежего скола кристалла каменной соли. При изменении нагрузки от 10 до 150 гс микротвердость каменной соли находится в пределах 180–190 кгс/мм². Отпечаток должен быть правильной квадратной формы с четкими прямыми углами. Диагональ отпечатка не должна иметь раздвоений и искривлений.

Л и т е р а т у р а [23 – 26].

3.7. Определение электропроводности

Электропроводность зависит не только от химического состава, но и является структурно чувствительной характеристикой металлических материалов. Увеличение дефектов кристаллической решетки вызывает изменение электропроводности. Еще в большей степени на электропроводности сказываются микродефекты—микротрещины, микропоры, различные включения.

Исследование электропроводности позволяет во многих случаях выяснить кинетику структурных превращений и оценить степень влияния на них технологических факторов.

Для немагнитных металлических материалов существует метод быстрого бесконтактного измерения электропроводности, пригодный не только для образцов, но и для непосредственного определения этой характеристики на деталях и полуфабрикатах. Метод бесконтактного определения электропроводности основан на возбуждении вихревых токов в испытуемых образцах или деталях. Сущность метода состоит в следующем: испытуемый образец или деталь помещается в магнитное поле катушки, питаемой переменным током. Возбуждаемые при этом в образце или детали вихревые токи оказывают на катушку обратное действие, проявляющееся в изменении сопротивления этой катушки, что регистрируется специальными электроизмерительными устройствами.

Метод бесконтактного определения электропроводности очень прост в исполнении и обеспечивает высокую производительность и широту применения, значительно превосходя в этом отношении мало-производительный и трудоемкий способ измерения удельного электро-сопротивления на образцах с помощью моста Томсона.

Отечественная промышленность выпускает серийно следующие три типа электроиндуктивных испытателей электропроводности: ИЭ-II, ИЭ-IM, ИЭ-I. Эти приборы, размером 300x240x240 и весом не более 6,5 кг каждый, градуированы в единицах электропроводности в пределах от 0,5 до 5,5; от 4,8 до 15,5 и от 15 до 59 м/ом·мм², соответственно. Приборы предназначены для контроля качества термической обработки, химического состава, степени чистоты немагнитных металлических материалов. Приборы могут быть использованы для сортировки немагнитных сплавов по маркам, для выявления несплошностей в поверхностном слое, например, поверхностных и подповерхностных трещин, раковин, неметаллических включений, зон крупнозернистого металла, ликвационных зон, "мягких" пятен, зон, пораженных коррозией, и т.п. Приборы также рекомендуются для металлофизических исследований, например, для изучения распада твердых растворов при механической или термической обработке сплавов, пресс-эффекта и т.д.

С помощью приборов можно определить физические свойства немагнитных металлических материалов, связанные с их электропроводностью однозначной зависимостью.

Отсчет значения электропроводности на приборах производится непосредственно по шкалам приборов. Погрешность измерения составит не более 5% от измеряемой величины при величине площадки на образце не менее 25 мм и максимальном заворе между поверхностью образца и торцом индуктивного датчика не более 0,2 мм. Приборы перед измерениями настраиваются с помощью специальных эталонов, имеющих определенную электропроводность.

Работа выполняется в следующей последовательности.

1. Подготовить образцы для определения электропроводности. Подобрать ровную поверхность диаметром 25 мм, при необходимости произвести шлифование и полирование. Образцы могут быть изготовлены из меди, алюминия, титана, магния и их сплавов, а также из нержавеющей и жаропрочных немагнитных сталей и сплавов.

2. Из порошков, указанных металлов и сплавов могут быть изготовлены путем прессования образцы различной пористости.

Подготовить приборы ИЭ-І, ИЭ-ІМ, ИЭ-ІІ для проведения исследования. Соединить шнур питания приборов с источником переменного тока, имеющим напряжение 220 В. Присоединить кабели датчиков к гнезду "Датчик", а ручку "Чувствительность" установить в левом крайнем положении, что соответствует минимальной чувствительности. Включить тумблеры приборов, переводом их в положение "Включено", при этом загорается сигнальная лампочка на передней панели прибора. После включения приборы должны прогреться в течение 30-45 мин.

3. Произвести балансировку и настройку приборов. Нажать на кнопку "Контроль нуля" на лицевой панели и ручкой "Установка нуля" вывести стрелку индикатора на нуль. При этом ручку "Чувствительность" перевести в крайнее правое положение, что соответствует максимальной чувствительности прибора. Произвести настройку приборов по эталонным образцам, имеющим определенное значение электропроводности. Установить по шкале приборов значение электропроводности эталонных образцов верхнего предела. Приставить торцы датчиков приборов к центральной части поверхности эталонных образцов и ручкой "Верхний предел" установить в среднее положение. Одновременно пользоваться обеими ручками запрещается. После установки верхнего предела измерения приборов следует на шкале приборов поставить значение электропроводности эталонных образцов нижнего предела. Датчики приложить торцами, как и в первом случае, к центральной части поверхности эталонных образцов. Ручкой "Нижний предел" добиться нулевого показания индикатора. После этого вновь проверить верхний предел измерений и процесс настройки повторить в той же последовательности.

Для прибора ИЭ-І проводится еще проверка средней точки шкалы по алюминиевому эталонному образцу, если погрешность показаний прибора для нее не превышает 3%.

4. Определить электропроводность подготовленных образцов. Установить датчик на ровную площадку диаметром не менее 25 мм и поворотом ручки "Электропроводность" добиться нулевого показания индикатора. Записать полученное значение электропроводности со шкалы, перемещение которой производится ручкой "Электропроводность". Точно так же производить определение электропроводности остальных образцов. При измерениях электропроводности приборы должны находиться в постоянных температурных условиях, так как температурный коэффициент измерения электропроводности равен 0,004-0,006, что

соответствует изменению электропроводности на 0,4–0,6% при изменении температуры всего лишь на 1°С. Для повышения точности показания приборов следует подводить шкалу к испытываемому значению электропроводности со стороны больших значений электропроводности. При длительной работе приборов необходимо проверять шкалу по эталонным образцам через каждые 30 мин., а при очень точных измерениях электропроводности подстройка шкалы должна проводиться перед каждым измерением.

Л и т е р а т у р а : [27 - 30].

3.8. Определение жаростойкости

Жаростойкость – это способность металлов и сплавов сопротивляться окислению (газовой коррозии) при высоких температурах.

Окисление металла и, особенно, сплавов представляет собой сложный химический процесс взаимодействия металла или элементов сплава с газами окружающей среды, главным образом с кислородом.

Процесс окисления состоит из двух основных стадий: непосредственного взаимодействия кислорода с металлом, в результате чего образуется пленка окислов; взаимодействия атомов кислорода с образовавшейся пленкой окислов, которая изолирует металл от непосредственного контакта с кислородом.

Это взаимодействие различно. Проникновение атомов кислорода может идти по трещинам и порам при рыхлом окисном слое или путем встречной диффузии атомов кислорода и металла при плотном и прочном окисном слое. Склонность к развитию процесса окисления и определяет жаростойкость металла и сплава. Чем выше скорость окисления, тем ниже жаростойкость. Окисление является сложной функцией температуры и времени, состава окисляющей среды и состава сплава.

Существует много методов определения степени развития процесса окисления. Одним из распространенных методов является определение увеличения массы образца (привеса Δm) при его окислении во времени τ при постоянной температуре t . Привес образца при окислении чаще всего берут для единицы поверхности, т.е.

$$\Delta m = \frac{P_1 - P_0}{S_0},$$

(3.31)

где Δm - привес, г/мм²;

P_0, P_1 - вес образца до и после окисления, г;

S_0 - поверхность образца до окисления, мм².

Скорость роста привеса образца определяет устойчивость металла или сплава по отношению к окислению.

Найдены следующие соотношения привеса и времени:

линейное соотношение

$$\Delta m = K_d \tau ; \quad (3.34)$$

параболическое соотношение

$$(\Delta m)^2 = K_n \tau ; \quad (3.35)$$

логарифмическое соотношение

$$\Delta m = K_e \operatorname{tg}(a\tau + 1) , \quad (3.36)$$

где K_d, K_n, K_e, a - постоянные.

Экспериментально установлено, что при линейной зависимости окисления металл не образует защитных пленок и совершенно не пригоден в качестве жаростойкого материала. Использование сплавов, окисляющихся по параболической зависимости или промежуточной между линейной и параболической, при повышенных температурах также ограничено. Металлы и сплавы, которые окисляются по логарифмической зависимости, относятся к жаростойким. Для более полного изучения процесса окисления применяются и другие методы: металлографический, рентгенографический, измерение микротвердости, химический анализ и др. Эти методы позволяют установить глубину окисления, химический и фазовый состав окисного слоя и т.д.

В данной работе ставится задача исследовать кинетику окисления материала по привесу образца, определить характер зависимости окисления от времени, дать оценку жаростойкости исследуемого материала. Полученные данные сравнить с литературными.

Работа выполняется в следующей последовательности.

1. Для выполнения работы необходимо подготовить: образцы, печь, весы, штангенциркуль.

2. Взвесить образцы до окисления с точностью 0,001 г.

3. Замерить линейные размеры образцов и рассчитать их поверхность.

4. Провести окисление образцов с периодическим взвешиванием (температура и время окисления по указанию преподавателя).

5. Рассчитать привес образцов - по формуле (3.33) после различных выдержек окисления.

6. По средним значениям привеса образцов построить зависимости $\Delta m - \tau$.

Определить характер окисления по формулам (3.32), (3.33), (3.34).

7. Рассчитать относительную ошибку измерения.

Л и т е р а т у р а : [31 - 33].

4. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

4.1. Зависимость величины зерна углеродистой стали от температуры и продолжительности отжига

Ц е л ь р а б о т ы : определение величины зерна в углеродистых сталях после отжига по различным режимам.

И с х о д н ы е д а н н ы е д л я р а б о т ы

Исследование проводится на образцах из углеродистой стали после отжига. Образцы отжигаются по одному из режимов: температура отжига 900, 1000, 1100, 1200⁰C; продолжительность - 1, 2, 3, 4 часа. Режим указывает преподаватель.

В разделе отчета "Изучение и обобщение литературных данных" рассмотреть следующие вопросы:

1. Состав и структура исследуемых сталей.

2. Определение и цель отжига как вида термической обработки стали.

3. Разновидности и режимы отжига.

4. Фазовые превращения при отжиге.

5. Изменение и рост зерен при отжиге.

6. Величина аустенитного зерна.

7. Влияние величины зерна на свойства сталей.

Л и т е р а т у р а : [34 - 37].

4.2. Влияние режима термической обработки на структуру и свойства перегретой стали

Ц е л ь р а б о т ы: определение твердости, величины и формы зерен перегретой стали после исправляющей термической обработки.

И с х о д н ы е д а н н ы е д л я р а б о т ы

Исследование проводится на перегретых образцах углеродистой стали 45. Термическая обработка перегретых образцов проводится по режиму: температура нагрева 750, 800, 850⁰С; выдержка 20 мин.; охлаждение на воздухе и охлаждение с печью только для 850⁰С. На всех образцах замеряется твердость, исследуется микроструктура.

В разделе отчета: "Изучение и обобщение литературных данных" рассмотреть следующие вопросы:

1. Состав и структура исследуемой стали.
2. Перегрев и пережог стали. Изменение структуры при перегреве. Видманштеттова структура.
3. Отжиг и нормализация углеродистой стали.
4. Фазовые превращения при отжиге.
5. Фазовые превращения при нормализации.
6. Влияние размеров зерна стали на ее свойства.

Л и т е р а т у р а: [34 - 37].

4.3. Зависимость твердости углеродистых сталей от содержания углерода и температуры нагрева под закалку

Ц е л ь р а б о т ы: определение твердости образцов из углеродистой стали после закалки; установление зависимости твердости образцов от содержания углерода и температуры нагрева под закалку.

И с х о д н ы е д а н н ы е д л я р а б о т ы

Исследование проводится на образцах углеродистых сталей марок 20, 45, У7, У8, У10, У12. Вариант термической обработки согласовать с преподавателем. На образцах измерить твердость и исследовать микроструктуру.

В разделе "Изучение и обобщение литературных данных" рассмотреть следующие вопросы:

1. Состав и структуры исследуемых сталей.
2. Определение и цель закалки как вида термической обработки стали.
3. Зависимость температуры закалки от содержания углерода.
4. Превращения при закалке углеродистых сталей.
5. Характеристика и свойства структур закалки.
6. Влияние скорости охлаждения на превращения при закалке.
7. Диаграммы изотермического распада аустенита доэвтектоидной, эвтектоидной и заэвтектоидной сталей.

Л и т е р а т у р а : [34 - 37].

4.4. Влияние степени пластической деформации на структуру и свойства стали

Ц е л ь р а б о т ы: определение влияния деформации на структуру и свойства стали; установление зависимости твердости от степени деформации.

И с х о д н ы е д а н н ы е д л я р а б о т ы

Исследование проводится на образцах из малоуглеродистой стали. Степень деформации образцов ~ 15,30,45,60%. На всех образцах после деформации замерить твердость на приборе Роквелла и исследовать микроструктуру.

В разделе отчета "Изучение и обобщение литературных данных" рассмотреть следующие вопросы:

1. Пластическая деформация металлов.
2. Влияние пластической деформации на структуру и свойства металлов.
3. Влияние нагрева на структуру и свойства холоднодеформированного металла.

Л и т е р а т у р а : [38, 39].

4.5. Зависимость величины зерна от степени деформации и термической обработки

Ц е л ь р а б о т ы: ознакомление с влиянием деформации на структуру, свойства металла и влиянием термической обработки на структуру и свойства деформированного металла; установление зависимости твердости стали от степени деформации; установление зависимости величины зерна после рекристаллизации от степени деформации.

И с х о д н ы е д а н н ы е д л я р а б о т ы

Исследования проводятся на малоуглеродистой стали при деформации образцов на 12,25,45 и 60%. Образцы после деформации отжигаются по одному из режимов: температуре 500, 600 или 700⁰С и выдержке 40 мин. Режим отжига назначается преподавателем.

На всех образцах определяется твердость. На образцах исходном и после отжига определяется величина зерна.

В разделе отчета "Изучение и обобщение литературных данных" рассмотреть следующие вопросы:

1. Влияние пластической деформации на структуру и свойства металлов.
2. Влияние нагрева на структуру и свойства холоднодеформированного металла.
3. Возврат и рекристаллизация.
4. Изменение размера зерен в процессе рекристаллизации.

Л и т е р а т у р а: [34 - 39].

4.6. Влияние термомеханической обработки на свойства алюминиевого сплава

Ц е л ь р а б о т ы: ознакомление с термомеханической обработкой; установление зависимости твердости сплава после старения от степени деформации перед искусственным старением.

И с х о д н ы е д а н н ы е д л я р а б о т ы

Исследование проводится на образцах из сплавов Д1 или Д16. ТМО выполняется по схеме: закалка - деформация-старение. Степень дефор-

мации образцов ~ 15,30,45,60%. Старение искусственное при температуре 200°C и продолжительности 6 час. На всех образцах после старения деформированных и недеформированных замеряется твердость.

В разделе отчета "Изучение и обобщение литературных данных" рассмотреть следующие вопросы:

1. Влияние деформации на структуру и свойства металлов.
2. Влияние нагрева на структуру и свойства холоднодеформированного металла.
3. Влияние термомеханической обработки на свойства сплавов.

Л и т е р а т у р а : [38 - 41].

4.7. Зависимость плотности брикетов от давления прессования порошка

Ц е л ь р а б о т ы : изучение технологии изготовления изделий из металлических порошков; определение плотности брикетов, отпрессованных при разных давлениях; установление зависимости плотности брикетов от давления прессования.

И с х о д н ы е д а н н ы е д л я р а б о т ы

Образцы для исследования прессуются из порошков Fe, Cu, Ni, Ti и др. при давлениях 4,6,8 т/см². Вид порошков указывается преподавателем. На образцах определяется плотность и пористость. Для расчета пористости плотность компактного материала порошков (γ_K) принимается для

$$Fe, \gamma_K = 7,87 \text{ г/см}^3; \quad Ni, \gamma_K = 8,50 \text{ г/см}^3;$$

$$Cu, \gamma_K = 8,96 \text{ г/см}^3, \quad Ti, \gamma_K = 4,51 \text{ г/см}^3.$$

В разделе отчета "Изучение и обобщение литературных данных" рассмотреть следующие вопросы:

1. Основные операции изготовления изделий методами порошковой металлургии.

2. Прессование порошков. Одностороннее и двустороннее прессование. Влияние основных факторов на процесс прессования.

3. Усиление прессования и плотность брикетов.
4. Влияние свойств материала на прессуемость порошков.

Л и т е р а т у р а : [42 - 44].

4.8. Зависимость плотности ленты от толщины при прокатке металлических порошков

Ц е л ь р а б о т ы : ознакомление с технологией прокатки металлического порошка в пористую ленту; определение плотности и пористости ленты; установление зависимости плотности ленты от толщины.

И с х о д н ы е д а н н ы е д л я р а б о т ы

Исследование проводится на металлическом порошке. Марка порошка указывается преподавателем.

В разделе "Изучение и обобщение литературных данных" рассмотреть следующие вопросы:

1. Основные операции при изготовлении ленты методом порошковой металлургии.
2. Прокатка металлических порошков. Влияние основных факторов на процесс прокатки.
3. Влияние материала порошка и формы частиц на прокатываемость.

Л и т е р а т у р а : [42 - 45].

4.9. Зависимость роста аустенитного зерна от вида природного зерна среднеуглеродистой стали

Ц е л ь р а б о т ы : выяснение кинетики роста зерна аустенита среднеуглеродистой стали при нагреве выше критической точки A_{c3} , определение природного зерна аустенита для разных партий одной и той же марки стали; выяснение зависимости твердости от величины аустенитного зерна.

И с х о д н ы е д а н н ы е д л я р а б о т ы

Исследования проводятся на образцах из среднеуглеродистой стали, отожженных при температурах 850, 900, 950, 1000°С. Образцы подвергаются закалке и нормализации. На всех образцах определяются твердость, величина бывшего аустенитного зерна, исследуется микроструктура.

В разделе отчета "Изучение и обобщение литературных данных" рассмотреть следующие вопросы:

1. Состав и структуры исследуемой стали.
2. Влияние величины зерна на свойства сталей.
3. Измельчение и рост зерна при нагреве.
4. Разновидности зерна аустенита.
5. Природно-мелкозернистые и природно-крупнозернистые стали и их поведение при нагреве.
6. Условия уменьшения склонности к росту аустенитного зерна при нагреве.

Л и т е р а т у р а : [34 - 37].

4.10. Влияние пористости на электропроводность спеченных немагнитных металлических материалов

Ц е л ь р а б о т ы : выявление влияния на электропроводность пористости спеченной меди, алюминия, титана, сплавов на их основе или нержавеющей сталей и сплавов. Выяснение влияния состояния поверхности образцов и краевого эффекта на электропроводность.

И с х о д н ы е д а н н ы е д л я р а б о т ы

Исследование проводится на спеченных образцах из немагнитных металлических порошков. Исходная поверхность образца грубая и полированная. Краевой эффект изучается при измерении электропроводности на различных расстояниях от края исследуемого образца.

В разделе отчета "Изучение и обобщение литературных данных" рассмотреть следующие вопросы:

1. Основные операции при изготовлении спеченных материалов.
2. Влияние пористости на свойства спеченных материалов.
3. Электрические свойства металлов.

4. Преимущества и недостатки существующих методов определения электропроводности.

5. Возможность контроля плотности спеченных материалов методом электропроводности.

Л и т е р а т у р а : [19, 27, 28].

4.11. Влияние пористости на жаростойкость спеченных материалов

Ц е л ь р а б о т ы : изучение влияния пористости и режима окислительного нагрева (температура, время) на жаростойкость спеченной меди, титана, титановых сплавов, железа, нержавеющей стали и жаропрочных сплавов на никелевой основе и т.п.

И с х о д н ы е д а н н ы е д л я р а б о т ы

Исследование проводится на пористых спеченных образцах из порошка меди, титана, железа, нержавеющей стали или жаропрочного сплава. Температуру нагрева (500, 700 или 900°C) и время окисления указывает преподаватель.

В разделе отчета "Изучение и обобщение литературных данных" рассмотреть следующие вопросы:

1. Основные операции при изготовлении спеченных материалов.
2. Влияние пористости на свойства спеченных материалов.
3. Влияние на жаростойкость температуры и продолжительности выдержки в окислительной атмосфере.
4. Влияние на жаростойкость пористости.
5. Методы повышения жаростойкости спеченных материалов.

Л и т е р а т у р а : [31 - 33, 46 - 48].

4.12. Зависимость величины удельной поверхности от размера частиц и способа получения порошка

Ц е л ь р а б о т ы : изучение влияния размера частиц на величину удельной поверхности порошка; выявление зависимости величины удельной поверхности для частиц одного и того же размера от спосо-

ба получения порошка; выяснение отличия величины удельной поверхности реальных порошков от порошка с частицами идеальной сферической формы.

И с х о д н ы е д а н н ы е д л я р а б о т ы

Исследования проводятся на двух видах порошков, полученных различными методами (восстановлением, распылением и т.д.). Берутся порошки железные, медные, титановые и др. Вид порошка указывается преподавателем. Порошки подвергаются рассеvu на ситах 0,25; 0,16; 0,10; 0,04. Из каждой фракции порошка приготавливается микрошлиф, на котором определяются размер частиц и удельная поверхность порошков.

В разделе отчета "Изучение и обобщение литературных данных" рассмотреть следующие вопросы:

1. Свойства металлических порошков.
2. Способы получения металлических порошков.
3. Зависимость свойств металлических порошков от способа их получения.
4. Влияние величины удельной поверхности на энергетическое состояние порошка и склонность к окислению.
5. Способы определения удельной поверхности порошков.

Л и т е р а т у р а : [42 - 43].

4.13. Изучение распределения частиц второй фазы или пор в металлических материалах

Ц е л ь р а б о т ы : определение однородности распределения частиц второй фазы в металлической матрице и пор в спеченных материалах.

И с х о д н ы е д а н н ы е д л я р а б о т ы

Для исследования приготавливаются из стали У12 после нормализации или из спеченного железа, меди, титана и т.п. Каждый образец разрезается на 4 части, из которых изготавливаются шлифы в последовательности отрезки. На шлифах определяются размер частиц второй фазы или пор и характер их распределения по сечениям.

В разделе отчета "Изучение и обобщение литературных данных" рассмотреть следующие вопросы:

1. Гранулометрический состав частиц порошка.
2. Влияние частиц второй фазы и пор на свойства материалов.
3. Влияние неравномерного распределения частиц второй фазы или пор на свойства материалов.
4. Условия получения однородного распределения частиц второй фазы или пор в металлических материалах.

Л и т е р а т у р а : [16, 18, 42, 43].

4.14. Влияние степени пластической деформации на электропроводность немагнитных металлических материалов

Ц е л ь р а б о т ы : выяснение влияния наклепа на электропроводность металлов; установление зависимости между электропроводностью и твердостью наклепанных металлов.

И с х о д н ы е д а н н ы е д л я р а б о т ы

Работа выполняется на образцах из меди, алюминия или титана. Образцы деформируются в холодном состоянии на 20, 40, 60%, после чего на них определяется твердость и электропроводность.

В разделе отчета "Изучение и обобщение литературных данных" рассмотреть следующие вопросы:

1. Пластическая деформация металлов.
2. Влияние наклепа на структуру и свойства металлов.
3. Природа электрических свойств металлов.
4. Преимущества и недостатки существующих методов определения электропроводности.

Л и т е р а т у р а : [27 - 30].

Л и т е р а т у р а

1. Блантер М.Е. Методика исследования металлов и обработка экспериментальных данных. - М.: Metallurgizdat, 1952.

2. Пустовалов Г.Е., Галалаева Е.В. Простейшие физические измерения и их обработка. - М.: МГУ, 1967.
3. Сквайрс Дж. Практическая физика: Пер. с англ. - М.: Мир, 1971.
4. Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В. Курс теории вероятностей и математической статистики. Для технических приложений. - М.: Наука, 1969.
5. Пустыльник В.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. - М.: Наука, 1968.
6. Иващенко И.А., Лиманов И.А., Трубецкой В.Г. Учебная научно-исследовательская работа студентов. Учебное пособие. - Куйбышев.: КуАИ, 1977.
7. Дрейнер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ: Пер. с англ. - М.: Статистика, 1973.
8. Вайнберг Дж., Шумекер Дж.: Пер. с англ. - М.: Статистика, 1979.
9. Зайдель А.Н. Элементарные оценки ошибок измерения. - Л.: Наука, 1968.
10. ШигOLEв Б.М. Математическая обработка наблюдений. - М.: Наука, 1969.
11. Салтыков С.А. Стереометрическая металлография. - М.: Металлургия, 1970.
12. Приборы и методы физического металловедения. /Под ред. Ф.Вейнберга: Пер. с англ. - М.: Мир, вып. I, 1973.
13. Гуляев А.П. Металловедение. - М.: Металлургия, 1977.
14. Самохоцкий А.И., Парфеновская Н.Г. Технология термической обработки металлов. - М.: Машиностроение, 1976.
15. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. - М.: Машиностроение, 1980.
16. Салтыков С.А. Введение в стереометрическую металлографию. - Ереван.: А.Н. Арм. ССР, 1950.
17. Сидорин И.И. и др. Основы материаловедения. - М.: Машиностроение, 1976.
18. Салтыков С.А. Метод измерения удельной поверхности порошков. Труды Всесоюзной научно-технической конференции по порошковой металлургии: Ереван, 1964.
19. Федорченко И.М., Андриевский Р.А. Основы порошковой металлургии. - Киев.: АН УССР, 1963.
20. Свойства элементов. Ч. I. Физические свойства.: Справочник. М.: Металлургия, 1976.

21. Самсонов Г.В., Плотников С.Я. Производство железного порошка.- М.:Металлургиздат, 1957.
22. Худокормова Р.Н. и др. Металловедение и термическая обработка металлов.Лабораторные работы. - Минск: Высшая школа, 1976.
23. Золотаревский В.С. Механические испытания и свойства металлов. - М.:Металлургия, 1974.
24. Описание прибора ПМТ-3. Инструкция.
25. Методы испытания, контроля и исследования машиностроительных материалов: Справочное пособие /Под ред. А.Т.Туманова. - М.: Машиностроение, 1974.
26. Панченко Е.В. и др. Лаборатория металлографии /Под ред. Б.Г.Лившица. - М.: Металлургия, 1965.
27. Дорофеев А.А. Неразрушающие испытания методом вихревых токов.- М.: Оборонгиз, 1961.
28. Новиков В.Ю. Физические и механические свойства металлов.Электрические свойства. - М.:МИСиС, 1976.
29. Шульце Г. Металлофизика: Пер. с нем.- М.: Мир, 1971.
30. Уманский Я.С., Скаков Ю.А. Физика металлов. - М.:Атомиздат, 1978.
31. Кубашевский О., Гопкинс Б. Окисление металлов и сплавов.:Пер. с англ. - М.: Металлургия, 1965.
32. Термическая обработка в машиностроении: Справочник /Под ред. Ю.М.Лахтина, А.Р.Рахтштадта. - М.:Машиностроение, 1980.
33. Бай А.С. и др. Окисление титана и его сплавов. - М.:Металлургия, 1970.
34. Лившиц Б.Г. Металлография. - М.:Металлургия, 1971.
35. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов. - М.: Металлургия, 1981.
36. Новиков И.И., Захаров И.В. Термическая обработка металлов и сплавов. - М.:Металлургиздат, 1962.
37. Гуляев А.П. Термическая обработка стали. - М.:Машгиз, 1960.
38. Морган К.Смит. Основы физики металлов: Пер. с англ. - М.:Металлургиздат, 1962.
39. Лысак Л.И., Николин Б.И. Физические основы термической обработки стали. - Киев: Техника, 1975.
40. Курдюмов Г.В. и др. Превращения в железе и стали. - М.: Наука, 1977.
41. Колачев Б.А. и др. Металловедение и термическая обработка цветных сплавов и металлов. - М.:Металлургия, 1982.

42. Аксенов Г.И. Основы порошковой металлургии. - Куйбышев. 1962.
43. Кипарисов С.С., Либенсон Г.А. Порошковая металлургия. - М.: Металлургия, 1980.
44. Виноградов Г.А., Радомысельский И.Д. Прессование и прокатка металлических материалов. - М.: Машгиз, 1963.
45. Виноградов Г.А., Семенов Ю.Н. Прокатка металлических порошков. - М.: Металлургия, 1969.
46. Никитин В.И. Расчет жаростойкости металлов. - М.: Металлургия, 1976.
47. Кофстад П. Высокотемпературное окисление металлов.: Пер. с англ. - М.: Мир, 1969.
48. Захаров М.В., Захаров А.М. Жаропрочные сплавы. - М.: Металлургия, 1972.

СОДЕРЖАНИЕ

П р е д и с л о в и е	3
I. ОБЩАЯ МЕТОДИКА НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ	
I.1. Основная задача и содержание научного исследования.....	5
I.2. Постановка задачи исследования.....	6
I.3. Выбор, обоснование и составление методик исследования.....	7
I.4. Проведение экспериментов.....	9
I.5. Обработка экспериментальных результатов.....	11
I.6. Составление отчета о работе (по УИРС).....	13
2. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ	
2.1. Задача и точность измерений.....	16
2.2. Классификация ошибок измерения.....	18
2.3. Определение ошибок для результатов прямых измерений.....	19
2.4. Необходимое число измерений.....	27
2.5. Определение ошибок для результатов косвенных измерений.....	28
2.6. Выявление промахов.....	30
2.7. Определение ошибки метода измерения.....	31
2.8. Некоторые понятия и определения математической статистики.....	31
2.9. Числовые характеристики распределения.....	33
3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ	
3.1. Определение линейных размеров зерен металлов и частиц порошков на металлографическом микроскопе..	34

3.2. Выявление аустенитного зерна в углеродистой стали.	39
3.3. Определение удельной поверхности металлических порошков.....	42
3.4. Определение гранулометрического состава тонких порошков.....	49
3.5. Измерение твердости.....	55
3.6. Определение микротвердости металлов.....	59
3.7. Определение электропроводности.....	62
3.8. Определение жаростойкости.....	65
4. ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ	
4.1. Зависимость величины зерна углеродистой стали от температуры и продолжительности отжига.....	67
4.2. Влияние режима термической обработки на структуру и свойства перегретой стали.....	68
4.3. Зависимость твердости углеродистых сталей от содержания углерода и температуры нагрева под закалку..	68
4.4. Влияние степени пластической деформации на структуру и свойства стали.....	69
4.5. Зависимость величины зерна от степени деформации и термической обработки.....	70
4.6. Влияние термомеханической обработки на свойства алюминиевого сплава.....	70
4.7. Зависимость плотности брикетов от давления прессования порошка.....	71
4.8. Зависимость плотности ленты от толщины при прокатке металлических порошков.....	72
4.9. Зависимость роста аустенитного зерна от вида природного зерна среднеуглеродистой стали.....	72
4.10. Влияние пористости на электропроводность спеченных немагнитных металлических материалов.....	73
4.11. Влияние пористости на жаростойкость спеченных материалов.....	74
4.12. Зависимость величины удельной поверхности от размера частиц и способа получения порошка.....	74
4.13. Изучение распределения частиц второй фазы или пор в металлических материалах.....	75

4.14. Влияние степени пластической деформации на электро- проводность немагнитных металлических материалов.....	76
Л и т е р а т у р а	76

Темплан 1983, поз. 520

Владимир Ильич К р ю к о в,
Валентин Петрович Р е в я к и н,
Игорь Алексеевич Д р о з д о в

УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА
ПО АВИАМЕТАЛЛОВЕДЕНИЮ, ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ
И МЕТАЛЛУРГИИ

Учебное пособие

Редактор Т.К.К р е т и н и н а
Техн.редактор Н.М.К а л е н ю к
Корректор Н.С.К у п р и я н о в а

Подписано в печать Ю.И.1983 г. Б0 05809
Формат 60x84 I/16. Бумага писчая. Оперативная
печать. Усл.п.л. 4,88 Уч.-изд.л. 4,8. Т. 500 экз.
Заказ 7251 Цена 15 к.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева,
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.
Обл.тип. им. В.П.Мяги, г.Куйбышев, ул.Венцека, 60.