МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РФ
НАБЕРЕЖНОЧЕЛНИНСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)
ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ)
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИССЛЕДОВАНИЕСТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЛУЧАЙНОЙ ВЕЛИЧИНЫ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Методы исследования, контроля и испытания материалов»

Набережные Челны
2019

Исследование статистических характеристик случайной величины результатов измерений: Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Методы исследования материалов и процессов» / Составитель: А.Г. Панов, И.Ф. Шаехова, - Набережные Челны: сост. А.Г. Панов, И.Ф.Шаехова - Набережные Челны: НЧИ (ф) КФУ, 2019, 30с.

Методические указания предназначены студентам и слушателям специальности 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» и 15.03.01 Машиностроение для выполнения лабораторной работы по общепрофессиональной дисциплине «Методы исследования, контроля и испытания материалов»

Рецензент: к.т.н., доцент, доцент кафедры «Материалы, технологии и качества» НЧИ КФУ Шафигуллин Л.Н.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторная работа «Исследование статистических характеристик случайной величины результатов измерений» предназначена для отработки студентами (слушателями) техники статистической обработки результатов измерений случайных величин, являющейся неотъемлемой частью всех исследований, испытаний, измерений. Она также предназначена для развития практических навыков работы студентов (слушателей) с прикладными программами на персональных компьютерах и навыков их работы на приборах испытания физико-механических свойств.

Работы выполняются в условиях измерительной лаборатории кафедры «Материалы, технологии и качество». К проведению лабораторной работы допускаются студенты, прошедшие инструктаж по охране труда и технике безопасности, а также обучение безопасным методам труда на соответствующем оборудовании, используемом при выполнении работ.

Студенты знакомятся с целью, содержанием и порядком работы по настоящим методическим указаниям, изучают рекомендуемую литературу.

Перед началом работы преподаватель проводит собеседование с каждым студентом и допускает к работе, если студент показал достаточные знания теоретического материала, цели, порядка выполнения и правил техники безопасности.

По выполненной работе студент составляет индивидуальный отчёт в соответствии с требованиями данных методических указаний.

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цели лабораторной работы:

- отработать технику статистической обработки результатов измерений случайных величин,
- развить практические навыки работы с прикладными программами на персональных компьютерах (Microsoft Office Excel),
- развить практические навыки работы на приборе Бринелля испытания физико-механических свойств (твёрдости) материалов.

2. ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИБОРЫ, ИНСТРУМЕНТЫ И МАТЕРИАЛЫ

В работе используются прибор Бринелля испытания физико-механических свойств (твёрдости) материалов, образцы макронеоднородных литых композитных материалов, персональные компьютеры с пакетом прикладных программ Microsoft Office Excel.

3. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Лабораторная работа включает следующие этапы:

1) Теоретико-методологический анализ исследуемой области.

2) Получение и исследование отпечатков индентора на приборе Бринелля измерения твёрдости.

3) Статистическая обработка экспериментальных данных.

4) Подготовка отчета по лабораторной работе.

5) Защита лабораторной работы.

4. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

4.1. Статистическая обработка результатов измерений

Практически все исследования материалов направлены на получение информации об их характеристиках, по которым можно предсказать поведение изделий при эксплуатации. Получение такой информации заключается в планировании и проведении всевозможных испытаний и измерений, а также обработке результатов измерений.

Любые методы количественного исследования направлены на определение значения измеряемой величины с минимальной ***погрешностью (ошибкой наблюдения)***,представляющей собой разность между фактически полученным результатами истинным значением измеряемой величины. Достижение минимальной погрешности свидетельствует о высокой точности измерения, и ее оценка является непременным требованием к любому параметру, измеряемому в эксперименте.

Из практики известно, что любое повторное измерение одной и той же характеристики в стандартных условиях наблюдения даёт каждый раз отличный от предшествующего результат, поскольку на его значение влияет ряд систематических и случайных факторов, объективно действующих в процессе эксперимента. Примером систематических факторов (т.е. систематически совершаемых ошибок) служат погрешности, вносимые собственно средствами измерения (аппаратурные), и эти факторы могут быть учтены при условии метрологической аттестации приборов. Случайные факторы, вызывающие ошибки наблюдения, не поддаются учёту и установить, какой результат измерений является истинным значением искомой величины, вообще говоря, не представляется возможным. Поэтом точность эксперимента невозможно охарактеризовать однозначно. Однако точность измерения может быть определена с помощью ***вероятностных оценок***, т.е.таких, которые справедливы лишь с определенной вероятностью. Для этого применяют статистическую обработку результатов наблюдений, использующую аппарат теории вероятности[1,2].

В теории вероятности под ***случайной величиной*** понимают такую величину, которая в результате измерений примет одно и только одно из возможных значений (вариантов), наперёд не известное и зависящее только от случайных факторов, которые заранее не могут быть учтены. Основываясь на таком определении случайной величины в теории вероятности доказывается, что если вероятность p получения результата со значением A в каждом испытании постоянна и отлична от нуля и единицы, то вероятность $P_n(k)$ того, что значение A появится в n испытаниях ровно kраз, имеет чёткую закономерность и приближённо равна значению функции

$$P_n(k) \approx \frac{1}{\sqrt{np(1-p)}} \cdot \Phi(x), \text{ где } x = (k-np)/\sqrt{np(1-p)}$$

Причём, чем больше n, тем приближение точнее, а при бесконечно большом n вероятность и значение функции совпадают. Это утверждение носит название «Локальная теорема Лапласа».

Соответствие между возможными значениями и их вероятностями случайной величины называют ***законом распределения случайной величины***, или *теоретическим распределением*. Распределение является главной и наиболее объективной характеристикой случайной величины, а поиск распределения и математической модели описания распределения исследуемой случайной величины являются главными задачами испытания и измерения, решаемыми с помощью математической статистики.

Первая задача математической статистики – указать способы сбора и группировки статистических сведений, полученных в результате наблюдений или специально поставленных экспериментов.

Вторая задача математической статистики - разработать методы анализа статистических данных в зависимости от целей исследования. К методам анализа относятся:

а) оценка неизвестной вероятности результата измерения; оценка неизвестной функции распределения; оценка параметров распределения, вид которого известен; оценка зависимости результата измерения от одного или нескольких параметров, являющихся случайными величинами и др.;

б) проверка статистических гипотез о виде неизвестного распределения или о величине параметров распределения, вид которого известен.

Наиболее часто в практике измерений для оценки неизвестной функции распределения сравнивают её с виртуальными известными функциями распределения, такими как нормальное (Гауссово) распределение, показательное распределение и др..

Современная математическая статистика разрабатывает способы определения числа необходимых испытаний до начала исследования (планирование эксперимента), в ходе исследования (последовательный анализ) и решает многие другие задачи. Её определяют как науку о ***принятии решений в условиях неопределённости***.

4.2. Основные статистические операции и характеристики

При проведении эксперимента по измерению какой-либо величины (единичного наблюдения) с заранее неизвестной погрешностью получают набор (выборку) из n результатов x_i: x_1, x_2,..., x_n, являющихся случайными величинами. Это могут быть результаты механических испытаний одинаковых образцов, замеры длин секущих при измерении размеров зерен в одном образце, данные измерения содержания легирующего элемента в образцах, взятых из одной плавки, и т. д. Для проведения испытаний применяют различные ***способы отбора случайных величин*** (случайного проведения испытаний):

а) отбор, не требующий расчленения генеральной совокупности (всех возможных испытаний) на части (простой случайный бесповторный отбор и простой случайный повторный отбор);

б) отбор, при котором генеральная совокупность разбивается на части (типический отбор, механический отбор, серийный отбор).

Первым шагом статистической обработки результатов измерений случайной величины является предварительная оценка типа её ***эмпирического статистического распределения выборки***, то есть, на какое известное виртуальное распределение оно похоже.

Для этого необходимо результаты эксперимента представить графически в виде ***гистограммы распределения частот***:

- полученные N значений измеряемого параметра x (выборка)группируют в m равных интервалов. Как правило, число интервалов составляет $0{,}1N$. Рекомендуется выбирать число интервалов m не менее восьми.

- подсчитывают частоту N_j(где j — порядковый номер интервала, j=1,2,..., m), представляющую собой количество экспериментальных данных, попавших в каждый интервал.
- строят гистограмму распределения абсолютной частоты N_j, представляющую собой набор прямоугольников, построенных на отрезках, соответствующих длине интервала, высота которых равна частоте (рисунок 1).
- проводят кривую через середины верхних оснований прямоугольников гистограммы распределения относительной частоты и получают полигон или кривую плотности относительных частот исследуемой случайной величины (пунктирная кривая на рисунке 1, по которой уже можно судить о виде закона распределения экспериментальных данных.

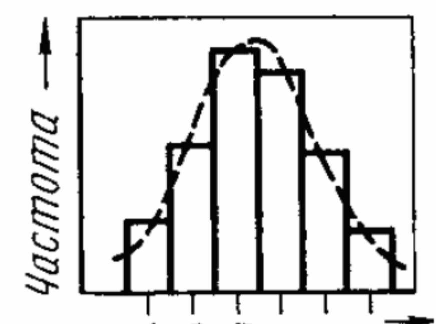
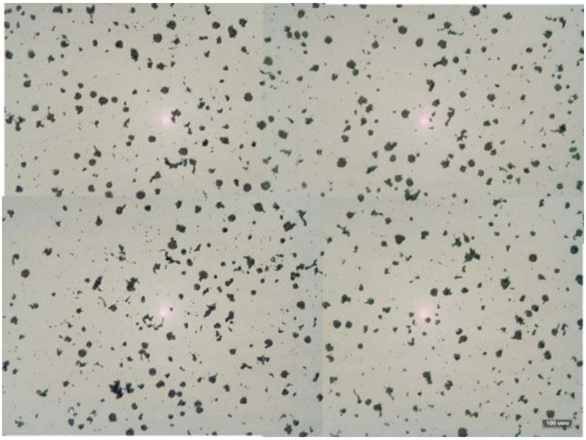
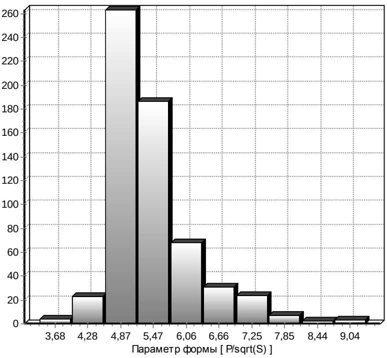


Рисунок 1. Графическое представление распределения случайной величины x

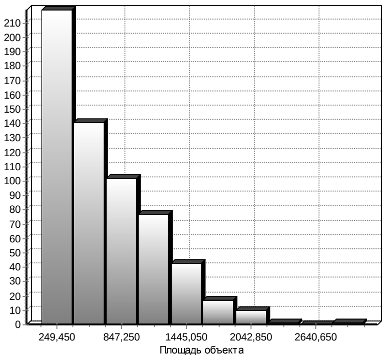
В общем случае линия получается ломаной (полигон), но при увеличении числа измерений N она становится все более плавной и переходит в кривую. На рисунке 2 представлены изображения микроструктуры включений графита (рисунок 2,а) в литом композиционном материале и распределения параметра формы включений графита, подобного нормальному распределению(рисунок 2,б) и распределения площади включений графита, подобного показательному распределению (рисунок 2,в). Гистограммы распределения получены с помощью прикладного пакета программ анализа изображения Emage Expert Pro_3 (ф. Новые Экспертные Системы, Москва)



а)



б)



в)

Рисунок 2. Микроструктура и распределение параметров включений графита в литом композиционном материале

Последующие статистические операции и характеристики рассмотрим на примере выборки случайной величины, имеющей распределение нормального типа.

Главными характеристиками случайной величины, имеющей распределение подобно нормальному, являются ***математическое ожидание*** *M(x)* и ***среднеквадратическое отклонение*** (синонимы: среднее квадратическое отклонение, среднеквадратичное отклонение, квадратичное отклонение, обозначается *S*или σ).

Для оценки математического ожидания случайной величины *x*и *размера выборки* (количества измерений в выборке)*n*служит функция (выборочное среднее арифметическое результатов измерений)

$$\overline{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \ . \qquad (1)$$

Для оценки среднеквадратического отклонения выборки служит функция («исправленное» среднеквадратическое отклонение результатов измерений или ***стандартное отклонение***)

$$S_x = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \overline{x})^2 /(n-1)}\,, \qquad (2)$$

где $\sum_{i=1}^{n}(x_i - \overline{x})^2$ – **дисперсия**(*мера разброса* значений относительно математического ожиданияслучайной величины).

Для того, чтобы статистические оценки давали удовлетворительные приближения оцениваемых параметров, они должны удовлетворять требованиям ***несмещённости***, ***эффективности*** и ***состоятельности***.

Несмещённой называют статистическую оценку, математическое ожидание которой равно оцениваемому параметру. Смещённой, соответственно, называют оценку, математическое ожидание которой не равно оцениваемому параметру. Эффективной называют статистическую оценку, которая при заданном объёме выборки n имеет наименьшую возможную дисперсию. Состоятельной называют статистическую оценку, которая при $n \to \infty$ стремится по вероятности к оцениваемому параметру. Например, если дисперсия несмещённой оценки при $n \to \infty$ стремится к нулю, то такая оценка оказывается и состоятельной.

Выборочное среднее арифметическое является основной, но*точечной* оценкой результатов измерений. При выборке малого объёма точечная оценка может значительно отличаться от оцениваемого параметра и приводить к грубым ошибкам. Чтобы этого избежать при небольшом объёме выборки следует пользоваться *интервальными* оценками. Интервальной называют оценку, которая определяет границы или величину интервала. Интервальные оценки позволяют установить точность и надёжность оценок.

Надёжностью αназывают вероятность совершения статистической ошибки 1 рода (отвержения правильной гипотезы). Наиболее часто уровень значимости принимают равным 0,05 или 0,01. ***Доверительной вероятностью р*** ($p = (1-\alpha)\cdot 100\%$) оценки называют вероятность того, что истинное значение измеряемой величины x находится внутри ***доверительного интервала***.

Для оценки доверительного интервала математического ожидания используют стандартную функцию распределения Стьюдента и среднеквадратическое отклонение результатов экспериментальных измерений. Границы доверительного интервала для уровня значимости α и размера выборки n при значении стандартного отклонения S_x определяются по формуле

$$\langle x \rangle = \bar{x} \pm S_t, \qquad (3)$$

где $S_t = t_{\alpha,\nu} \cdot S_x / \sqrt{n}$; $t_{\alpha,\nu}$ – критерий Стьюдента для уровня значимости αи степени свободы системы ν = (n – 1), определяемый по таблице приложения 1.

Важно понимать, что описание оценки математического ожидания случайной величины по формуле (3) даёт информацию только о *наиболее вероятном её среднем значении*, но не даёт представления о разбросе её возможных значений(вариант).Оценку разброса возможных значений производят по формуле:

$$\langle x\rangle = \bar{x} \pm u \cdot S_x \cdot (1+q), \qquad (4)$$

где $u \bullet S_x \bullet (1+q)$ – ***погрешность*** измерения, u – коэффициент, зависящий от доверительной вероятности и равен 2 при вероятности 95,5% и 3 при вероятности 99,7%.

Формула (4) является основной при описании результатов измерений. Она дополнительно учитывает доверительные интервалы среднеквадратического отклонения случайной величины, вычисляемые по формуле

$$\langle \sigma\rangle = S_x \cdot (1 \pm q), \qquad (5)$$

где q – табулированная величина, зависящая от доверительной вероятности и размера выборки (приложение 2).

Кроме выборочной средней и стандартного отклонения применяются и другие характеристики вариационного ряда. Практически наиболее значимые из них следующие.

Модой M_o называют варианту, которая имеет наибольшую частоту.

Медианойm_e называют варианту, которая делит вариационный ряд на две части, равные по числу вариант.

Размахом варьирования R называют разность между наибольшей и наименьшей вариантами. Размах является простейшей характеристикой рассеяния вариационного ряда.

Коэффициентом вариации V называют выраженное в процентах отношение выборочного среднего квадратического отклонения к выборочной средней.

Обобщёнными характеристиками случайной величины являются моменты распределения.

Начальным моментом αпорядка hслучайной величины X называют математическое ожидание величины X^h

$$\alpha_h(X) = M\left(X^h\right) \qquad (6)$$

Как видно, начальный момент первого порядка является математическим ожиданием случайной величины.

Центральным моментом μпорядка hслучайной величины X называют математическое ожидание величины $[X\text{-}M(X)]^h$

$$\mu_h(X) = M\left[X - M(X)\right]^h \qquad (7)$$

Как видно, центральный момент второго порядка является дисперсией.

Третий центральный момент по выборке характеризует симметрию кривой плотности распределения. Обычно рассчитывают безразмерную величину, называемую *асимметрией*:

$$A_x = \frac{\mu_3^*}{S_x^3} \qquad (8)$$

Если его величина больше нуля, то «длинная часть» кривой расположена справа, если меньше – слева.

Четвёртый центральный момент по выборке характеризует островершинность кривой плотности распределения. Обычно рассчитывают безразмерную величину, называемую *эксцессом*:

$$E_x = \frac{\mu_4^*}{S_x^4} - 3 \qquad (9)$$

Если эксцесс положительный, то кривая плотности более островершинна, если эксцесс отрицательный - плосковершинна по сравнению с нормальной.

Для проверки справедливости принятия решения о соответствии закона распределения случайной величины известному виртуальному проводят оценку их *согласия*.

Приближённую оценку согласия опытного распределения с нормальным можно дать по правилу *трёх сигм*. С этой же целью может использоваться коэффициент вариации, если он более 0,15 – 0,20, то не следует ориентироваться на нормальное распределение.

Более объективная оценка согласия производится с помощью статистических критериев согласия.

Наиболее часто для числа наблюдений более 50 применяется критерий Пирсона.

Для менее представительной выборки (менее100) применяют критерий «омега-квадрат» Смирнова.

Приближённым методом проверки гипотезы о нормальном распределении являются сравнения асимметрии и эксцесса с их стандартными отклонениями, которые рассчитывают по формулам:

$$S_{A_x} = \sqrt{\frac{6(n-1)}{(n+1)(n+3)}}\ ; \qquad (10)$$

$$S_{E_x} = \sqrt{\frac{24(n-2)(n-3)n}{(n+1)^2(n+3)(n+5)}}\ ; \qquad (11)$$

Если абсолютные значения асимметрии и эксцесса меньше их стандартных отклонений, то гипотеза о нормальности распределения принимается.

Для проверки принадлежности минимального и максимального значений (первого и последнего в вариационном ряду) к одной генеральной совокупности вычисляют соотношения разницы двух соседних вариант и стандартного отклонения:

$$\lambda_{\min} = \frac{x_2 - x_1}{S_x} \qquad (12)$$

$$\lambda_{\max} = \frac{x_n - x_{n-1}}{S_x} \qquad (13)$$

Вычисленные значения сопоставляют с критическим значением (критерием Ирвина) $\lambda_{кр}$, найденным для определённой доверительной вероятности (Приложение 3). Есливычисленное значение не больше критического, то считают рассматриваемую варианту случайной. В противном случае её считают выбросом, не характерным для рассматриваемой совокупности. Сомнительная величина отбрасывается и производится соответствующая корректировка характеристик распределения (повторением расчётов).

4.3. Определение твёрдости материалов методом Бринелля

Этот способ используется для определения твердости как металлов, так и полимерных материалов.

В материал вдавливается стальной шарик, и значения твердости определяют по величине поверхности отпечатка, оставляемого шариком. Шарик вдавливают с помощью пресса. В некоторых конструкциях давление осуществляется гидравлическим способом, а в других – грузами, передвижение которых осуществляется электродвигателем.

Испытуемый образец (деталь) устанавливают на столике *4*в нижней части неподвижной станины пресса (рисунок 3), зашлифованной поверхностью кверху. Поворотом вручную маховика *5*по часовой стрелке столик прибора поднимают так, чтобы шарик мог вдавиться в испытуемую поверхность. В прессах с электродвигателем вращают маховик *5* до упора и нажатием кнопки включают двигатель *8*. Последний сначала перемещает коромысло и постепенно нагружает шток, а, следовательно, и вдавливает шарик под действием нагрузки, сообщаемой привешенным к коромыслу грузом*10*. Эта нагрузка действует в течение определенного времени, обычно 10—60 с, в зависимости от твердости измеряемого материала, после чего вал двигателя, вращаясь в обратную сторону, перемещает коромысло и снимает нагрузку. После автоматического выключения двигателя, поворачивая маховик *5*против часовой стрелки, опускают столик прибора и затем снимают образец. Регулировкой реле двигателя можно изменять время приложения нагрузки.

В образце остается отпечаток со сферической поверхностью (лунка). Диаметр отпечатка измеряют лупой, на окуляре которой нанесена шкала с делениями, соответствующими десятым долям миллиметра. Диаметр отпечатка измеряют с точностью до 0,05 мм(при вдавливании шарика диаметром 10 и 5 мм) в двух взаимно перпендикулярных направлениях; для определения твердости следует принимать среднюю арифметическую из полученных величин.

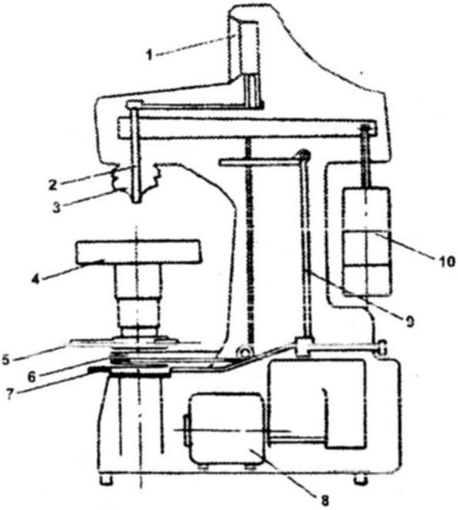


Рисунок 3. Схема прибора для получения твердости вдавливанием шарика методом Бринелля

При измерениях расстояние от центра получаемого отпечатка до края образца должно быть не меньше двух диаметров отпечатка во избежание искажения результатов из-за «выпучивания» края образца. Каждое последующее измерение надо проводить на расстоянии не меньше двух диаметров от предыдущего отпечатка. Число твердости по Бринеллю *HB* характеризуется отношением нагрузки, действующей на шарик, к поверхности отпечатка:

$$HB = {}^{P}\!/_{F} = \frac{P}{\frac{\pi D}{2} \cdot \left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)}, \qquad (14)$$

где P – нагрузка на шарик, кгс; F – поверхность отпечатка, мм^2; D – диаметр вдавливаемого шарика, мм; d – диаметр отпечатка, мм.

Получаемое число твердости при прочих равных условиях определяется диаметром отпечатка *d*. Последний тем меньше, чем вышетвердость испытуемого материала.

Однако получение постоянной и одинаковой зависимости междувеличиной нагрузки и диаметром отпечатка, необходимое для точногоопределения твердости, сравнительно надежно достигается толькопри соблюдении определенных условий. При вдавливании шарика наразную глубину, т. е. с разной нагрузкой для одного и того же материала, не соблюдается закон подобия между получаемыми диаметрами отпечатка. Наибольшие отклонения наблюдаются, если шарик вдавливается с малой нагрузкой и оставляет отпечаток небольшого диаметра или вдавливается с очень большой нагрузкой и оставляет отпечаток большого диаметра, приближающегося по величине к диаметру шарика. Поэтому твердость измеряют при постоянном соотношении между величиной нагрузки *P* и квадратом диаметра шарика D^2.Это соотношение должно быть различным для материалов разной твердости. Деформация материала в разных участках под шариком неодинакова. Вызываемая этим неоднородность напряженного состояния возрастает с увеличением поверхности отпечатка, т. е. величины нагрузки.

В процессе вдавливания наряду с пластической деформацией испытываемого материала происходит также упругая деформация вдавливаемого шарика. Величина этой деформации, искажающей результаты определения, возрастает при измерении твердых материалов. Поэтому испытания вдавливанием шарика ограничивают измерением материалов небольшой и средней твердости (для стали с твердостью не более *HB* 450).

Известное влияние оказывает также длительность выдержки материала под нагрузкой. Легкоплавкие металлы (свинец, цинк, баббиты), имеющие низкую температуру рекристаллизации, испытывают пластическую деформацию не только в момент вдавливания, но ив течение некоторого времени после приложения нагрузки. С увеличением выдержки под нагрузкой пластическая деформация этих металлов практически стабилизируется. Для металлов с высокими температурами плавления влияние продолжительности выдержки под нагрузкой незначительно, что позволяет применять более короткие выдержки (10—30 с).Твердость полимерных материалов в большой степени зависит от длительности приложения нагрузки.

При измерении твердости шариком определенного диаметра ис установленными нагрузками нет необходимости проводить расчетпо указанной выше формуле. На практике пользуются заранее составленными таблицами, указывающими число *НВ* в зависимости от диаметра отпечатка и соотношения между нагрузкой *Р* и поверхностью отпечатка *F* (Приложение 4). При указании твердости *НВ* иногда отмечают принятые нагрузку и диаметр шарика.

Измерение твердости вдавливанием стального шарика не является универсальным способом. Этот способ не позволяет: а) испытывать материалы с твердостью более *НВ* 450; б) измерять твердость тонкого поверхностного слоя (толщиной менее 1-2 мм), так как стальной шарик продавливает этот слой и проникает на большую глубину. Толщина измеряемого слоя (или образца) должна быть не менее10-кратной глубины отпечатка.

5. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

Работа рассчитана на 4 часа

1. Последовательность реализуемых этапов:

1.1. Теоретико-методологический анализ исследуемой области – 1,25 часа.

Студенты (слушатели) освежают в памяти информацию по методам статистической обработки результатов измерений, методу измерения твёрдости на твердомере Бринелля и по методам работы с пакетом прикладных программ Microsoft Office Excel, используя настоящие методические указания и рекомендуемую литературу.

1.2. Получение и исследование отпечатков индентора на приборе замера твёрдости – 0,5 часа.

1.3. Статистическая обработка экспериментальных данных – 2 часа.

1.4. Составление отчёта – 0,25 часа.

2. Указания к выполнению работы

Перед началом экспериментальной работы в качестве персонального задания преподавателю выдатьстудентам (слушателям) индивидуальные образцы чугунов.

После проведения теоретико-методологического анализа применения методов математической статистики в материаловедении и метода измерения твёрдости Бринелля приступить к выполнению испытаний и обработки результатов испытаний.

Для этого произвести не менее 10 измерений твёрдости.

Разбить полученные результаты выборки на 3 и на 2 группы. Для каждой группы и всей выборки построить гистограмму распределения, определить среднее арифметическое, размах варьирования R, коэффициент вариации V, половину ширины доверительного интервала (величина второго слагаемого формулы (3)) и погрешности измерения (величина второго слагаемого формулы (4)) для доверительной вероятности 95%.

Для проведения вычислений и построений воспользоваться прикладной программой Microsoft Office Excel.

Провести анализ полученных результатов и составить отчёт согласно приложения 5.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какова цель лабораторной работы?
2. Что такое ошибка наблюдения? Назовите примеры систематических и случайных ошибок наблюдения.
3. Что такое вероятностная оценка результатов измерений?
4. Что такое распределение случайной величины? Какие основные виды распределения случайной величины?
5. Назовите основные статистические характеристики случайной величины.
6. Что такое надёжность оценки статистической характеристики?
7. Как называется вероятность нахождения математического ожидания значения внутри доверительного интервала?
8. Что характеризуют дисперсия, среднеквадратическое и стандартное отклонения? Чем отличаются эти характеристики?
9. Для чего используют коэффициент Стьюдента?
10. Для чего используют критерий Ирвина?
11. Каким центральным моментом характеризуется симметрия кривой плотности распределения вероятности случайной величины?
12. Каким центральным моментом характеризуется островершинность кривой плотности распределения вероятности случайной величины?
13. Расскажите принцип работы твердомера Бринелля.
14. В каких случаях (при измерении твёрдости каких образцов) нельзя использовать метод Бринелля)?

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Приложение П 3.3. **Значения критерия Стьюдента t_{β}**

$n-1$	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99	0,995	0,999
2	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	14,09	31,60
3	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	7,453	12,92
4	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	5,598	8,610
5	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	4,773	6,869
6	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	4,317	5,959
7	1,415	1,895	2,365	2,998	3,500	4,029	5,408
8	1,397	1,860	2,306	2,897	3,355	3,833	5,041
9	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	3,690	4,781
10	1,372	1,813	2,228	2,764	3,169	3,581	4,587
11	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	3,497	4,437
12	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	3,428	4,318
13	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	3,373	4,221
14	1,345	1,761	2,145	2,625	2,977	3,326	4,141
15	1,341	1,753	2,131	2,603	2,947	3,286	4,073
16	1,337	1,746	2,120	2,584	2,921	3,252	4,015
17	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,222	3,965
18	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,197	3,922

17 — 8657

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица П1

Таблица значений $q = q(\gamma, n)$

n	γ			n	γ		
	0,95	0,99	0,999		0,95	0,99	0,999
5	1,37	2,67	5,64	20	0,37	0,58	0,88
6	1,09	2,01	3,88	25	0,32	0,49	0,73
7	0,92	1,62	2,98	30	0,28	0,43	0,63
8	0,80	1,38	2,42	35	0,26	0,38	0,56
9	0,71	1,20	2,06	40	0,24	0,35	0,50
10	0,65	1,08	1,80	45	0,22	0,32	0,46
11	0,59	0,98	1,60	50	0,21	0,30	0,43
12	0,55	0,90	1,45	60	0,188	0,269	0,38
13	0,52	0,83	1,33	70	0,174	0,245	0,34
14	0,48	0,78	1,23	80	0,161	0,226	0,31
15	0,46	0,73	1,15	90	0,151	0,211	0,29
16	0,44	0,70	1,07	100	0,143	0,198	0,27
17	0,42	0,66	1,01	150	0,115	0,160	0,211
18	0,40	0,63	0,96	200	0,099	0,136	0,185
19	0,39	0,60	0,92	250	0,089	0,120	0,162

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Таблица П1

Приложение П 3.7. **Значения критерия Ирвина $\lambda_{кр}$**

n	0,95	0,99
2	2,6	3,7
3	2,2	2,9
10	1,5	2,0
20	1,3	1,8
30	1,2	1,7
50	1,1	1,6
100	1,0	1,5
400	0,9	1,3
1000	0,8	1,2

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Таблица П3

Значения твёрдости, измеренной методом Бринелля

$HB_{d/P}$, кгс/мм^2				$HB_{d/P}$, кгс/мм^2			
Диаметр отпечатка $d_{10}(2d_5, 4d_{2,5})$, мм	P, кгс			Диаметр отпечатка $d_{10}(2d_5, 4d_{2,5})$, мм	P, кгс		
	3000 (30D^2)	1000 (10D^2)	250 (2,5D^2)		3000 (30D^2)	1000 (10D^2)	250 (2,5D^2)
2,85	460,5	153,5	38,4	4,15	211,8	70,6	17,6
2,90	444,4	148,1	37,0	4,20	206,5	68,8	17,2
2,95	429,2	143,1	35,8	4,25	201,4	67,1	16,8
3,00	414,6	138,2	34,6	4,30	196,5	65,5	16,4
3,05	400,8	133,6	33,4	4,35	191,8	63,9	16,0
3,10	387,7	129,2	32,3	4,40	187,2	62,4	15,6
3,15	375,2	125,1	31,3	4,45	182,8	60,9	15,2
3,20	363,2	121,1	30,3	4,50	178,5	59,5	14,9
3,25	351,8	117,3	29,3	4,55	174,4	58,1	14,5
3,30	340,9	113,6	28,4	4,60	170,4	56,8	14,2
3,35	330,5	110,2	27,5	4,65	166,5	55,5	13,9
3,40	320,6	106,9	26,7	4,70	162,8	54,3	13,6
3,45	311,1	103,7	25,9	4,75	159,1	53,0	13,3
3,50	302,0	100,7	25,2	4,80	155,6	51,9	13,0
3,55	293,2	97,7	24,4	4,85	152,2	50,7	12,7
3,60	284,9	95,0	23,7	4,90	148,9	49,6	12,4
3,65	276,8	92,3	23,1	4,95	145,7	48,6	12,1
3,70	269,1	89,7	22,4	5,00	142,6	47,5	11,9
3,75	261,7	87,2	21,8	5,05	139,5	46,5	11,6
3,80	254,6	84,9	21,2	5,10	136,6	45,5	11,4
3,85	247,8	82,6	20,6	5,15	133,7	44,6	11,1
3,90	241,2	80,4	20,1	5,20	131,0	43,7	10,9
3,95	234,9	78,3	19,6	5,25	128,3	42,8	10,7
4,00	228,8	76,3	19,1	5,30	125,6	41,9	10,5
4,05	222,9	74,3	18,6	5,35	123,1	41,0	10,3
4,10	217,2	72,4	18,1	5,40	120,6	40,2	10,1

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

ОТЧЁТ

по лабораторной работе «Исследование статистических характеристик случайной величины результатов измерений»

Кафедра: МТиК
Дисциплина: ОПД.08 ММКиИМ
Оборудование и инструменты: Твердомер Бринелля №_______
Программа Microsoft Office Excel
Нагрузка при измерении твёрдости ____________ кг.
Диаметр шарика _______ мм.

Результаты испытаний твёрдости

Выборка	№ измерения	d, мм	HB, кгс/мм^2	$\overline{HB}$, кгс/мм^2	R, кгс/мм^2	V, %	Ширина дов. интервала HB, кгс/мм^2	Погрешность HB, кгс/мм^2
1	1							
	…							
	10							
2	1							
	2							
	3							
3	4							
	5							
	6							
…								
6	1							
	…							
	5							

Выводы по работе:

Исследование провёл:
Студент гр. 1131107 Иванов И.И.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Е. Гмурман. – 11 –е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2005. – 479 с.: ил.
2. Зоткин В.Е. Методология выбора материалов и упрочняющих технологий в машиностроении: учеб. пособие. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2008. – 320 с. – (Высшее образование).
3. Макарова Н.В., Трофимец В.Я. Статистика в Excel: учеб. пособие. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 368 с.
4. Металловедение и термообработка стали: Справ. изд. – 3-е изд., перераб. и доп. В 3-х т.: Т.1 Методы испытаний и исследования / Под ред. Бернштейна М.Л. и Рахштадта А.Г. – М.: Металлургия, 1983, - 352 с.