

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра металлорежущих станков и инструментов

Составители
В. Г. Баштанов
С. В. Лацинина
В. В. Драчев

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Методические материалы

Рекомендовано учебно-методической комиссией специальности
15.05.01 Проектирование технологических машин и комплексов
в качестве электронного издания
для использования в образовательном процессе

Кемерово 2019

Рецензенты:

Петренко К. П. – кандидат технических наук, доцент кафедры металлорежущих станков и инструментов

Баштанов Вячеслав Геннадьевич

Средства и методы контроля качества продукции машиностроения: методические материалы [Электронный ресурс]: для обучающихся специальности 15.05.01 Проектирование технологических машин и комплексов всех форм обучения / сост. В. Г. Баштанов, С. В. Лащина, В. В. Драчев; КузГТУ. – Электрон. издан. – Кемерово, 2019.

Методические материалы к лабораторным занятиям и самостоятельной работе составлены в соответствии с рабочей программой по дисциплине «Средства и методы контроля качества продукции машиностроения». Содержат полный перечень лабораторных занятий по указанной дисциплине, самостоятельную работу, а также список литературных источников.

© КузГТУ, 2019
© В. Г. Баштанов,
С. В. Лащина,
В. В. Драчев,
составление, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторное занятие №1. «Измерение физических величин»	4
Лабораторное занятие №2 «Числовые и предельные средства измерений в процессах контроля»	42
Лабораторное занятие №3. «Методы испытания механических свойств материалов»	52
Лабораторное занятие №4. «Металлографические методы контроля структуры материалов»	73
Лабораторное занятие №5. «Метод ультразвуковой дефектоскопии»	86
Лабораторное занятие №6. «Метод ультразвуковой дефектоскопии»	95
Самостоятельная работа	101

ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ №1 «ИЗМЕРЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН»

Составитель: Баштанов В. Г.

1. ЦЕЛЬ ЗАНЯТИЯ

Целью занятия является изучение физических величин, принципов и методов измерения физических величин, а также получение знаний о средствах измерений.

2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТРОЛОГИИ

2.1. Термины и определения.

Метрология – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Метрология изучает:

- методы и средства для учета продукции по следующим показателям: длине, массе, объему, расходу и мощности;
- измерения физических величин (ФВ) и технических параметров, а также свойств и состава веществ;
- измерения для контроля и регулирования технологических процессов.

Выделяют несколько основных направлений метрологии:

- общая теория измерений;
- системы единиц ФВ;
- методы и средства измерений;
- методы определения точности измерений;
- основы обеспечения единства измерений, а также основы единообразия средств измерения;
- эталоны и образцовые средства измерений;
- методы передачи размеров единиц от образцов средств измерения и от эталонов рабочим средствам измерения.

Различают следующие объекты метрологии:

- единицы ФВ;
- средства измерений (СИ);

– методы и методики измерений.

Современная метрология включает три составляющие (рис. 1): теоретическую (фундаментальную, научную), прикладную (практическую) и законодательную метрологию.

Теоретическая метрология занимается вопросами фундаментальных исследований, созданием системы единиц измерений, физических постоянных, разработкой новых методов измерения.

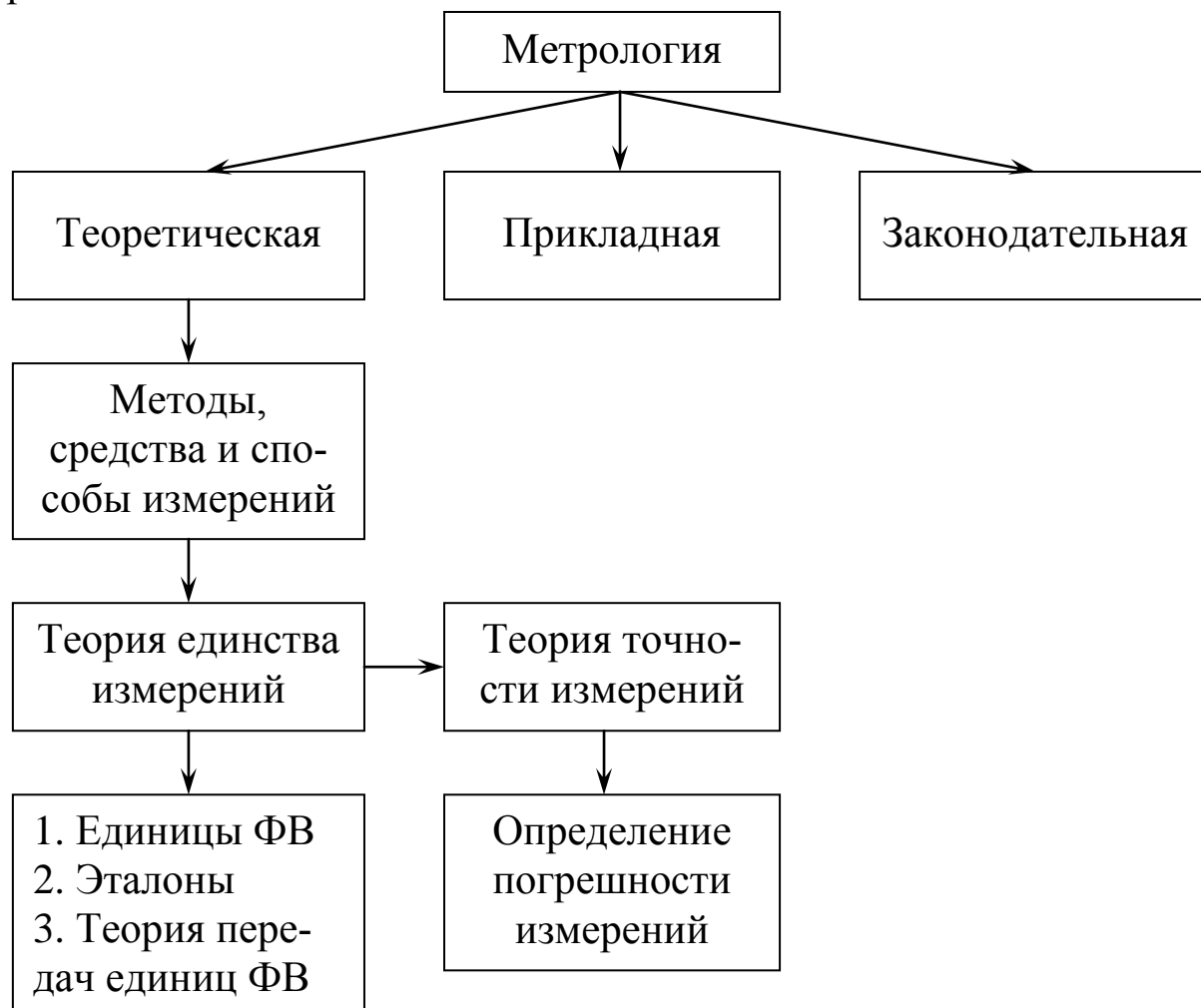


Рис. 1. Структурная схема метрологии

Прикладная метрология занимается вопросами практического применения в различных сферах деятельности результатов теоретических исследований в рамках метрологии и положений законодательной метрологии.

Законодательная метрология включает совокупность взаимобусловленных правил и норм, имеющих обязательную силу и находящихся под контролем государства, по применению еди-

ниц ФВ, эталонов, методов и средств измерений, направленных на обеспечение единства измерений в интересах общества.

Объект измерения – тело (физическая система, процесс, явление и т. д.), которое характеризуется одной или несколькими измеряемыми ФВ. Например, коленчатый вал, у которого измеряют диаметр; технологический процесс, во время которого измеряют температуру; спутник Земли, координаты которого измеряются.

Область измерений – совокупность измерений ФВ, свойственных какой-либо области науки или техники и выделяющихся своей спецификой. Выделяют ряд областей измерений: механические, магнитные, акустические, измерения ионизирующих излучений и др.

2.2. Физические величины

Физическая величина (ФВ) – одно из свойств физического объекта (физической системы, явления или процесса), общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них.

Величина – это свойство чего-либо, что может быть выделено среди других свойств и оценено тем или иным способом, в том числе для количественного описания различных свойств процессов и физических тел. Величина не существует сама по себе, она имеет место лишь постольку, поскольку существует объект со свойствами, выраженными данной величиной.

Величины можно разделить на *реальные* и *идеальные*. Идеальные величины главным образом относятся к математике и являются обобщением (моделью) конкретных реальных понятий. Реальные величины делятся, в свою очередь, на *физические* и *нефизические*. ФВ в общем случае может быть определена как величина, свойственная материальным объектам (процессам, явлениям). К нефизическим следует отнести величины, присущие общественным (нефизическим) наукам – философии, социологии, экономике и т. д.

ФВ целесообразно разделить на *измеряемые* и *оцениваемые*. Измеряемые ФВ могут быть выражены количественно в виде определенного числа установленных единиц измерения. Возможность введения и использования измеряемых ФВ является важ-

ным отличительным признаком. ФВ, для которых по тем или иным причинам не может быть введена единица измерения, могут быть только оценены. Величины оценивают при помощи шкал.

Нефизические величины, для которых единица измерения в принципе не может быть введена, могут быть только оценены.

Применение краткой формы термина «величина» вместо термина «ФВ» допустимо только в том случае, когда из контекста ясно, что речь идет именно о ФВ, а не о математической.

Не следует применять термин «величина» для выражения только количественной стороны рассматриваемого свойства. Например, нельзя говорить или писать «величина массы», «величина площади», «величина силы тока» и т. д., так как эти характеристики (масса, площадь, сила тока) сами являются величинами. В этих случаях следует применять термины «размер величины» или «значение величины».

Размер ФВ – количественная определенность ФВ, присущая конкретному материальному объекту, системе, явлению или процессу.

Значение ФВ – выражение размера ФВ в виде некоторого числа принятых для нее единиц.

Значение величины не следует смешивать с размером. Размер ФВ данного объекта существует реально и не зависит от того, знаем мы его или нет, выражаем его в каких-либо единицах или нет. Значение же ФВ появляется только после того, как размер величины данного объекта выражен с помощью какой-либо единицы.

Числовое значение ФВ – отвлеченное число, входящее в значение величины.

Истинное значение ФВ – значение ФВ, которое идеальным образом характеризует в качественном и количественном отношении соответствующую ФВ.

Действительное значение ФВ – значение ФВ, полученное экспериментальным путем и настолько близкое к истинному значению, что в поставленной измерительной задаче может быть использовано вместо него. За действительное значение ФВ обычно принимают среднее арифметическое из ряда значений величины,

полученных при равноточных измерениях, или арифметическое среднее взвешенное при неравноточных измерениях.

Физический параметр – ФВ, рассматриваемая при измерении данной ФВ как вспомогательная. При оценивании качества продукции нередко применяют выражение измеряемые параметры. Здесь под параметрами, как правило, подразумевают ФВ, обычно наилучшим образом отражающие качество изделий или процессов.

Влияющая ФВ – ФВ, оказывающая влияние на размер измеряемой величины, измерение которой не предусмотрено данным средством измерений (СИ), но оказывающая влияние на результаты измерений ФВ, для которой предназначено СИ.

Система ФВ – совокупность ФВ, образованная в соответствии с принятыми принципами, когда одни величины принимают за независимые, а другие определяют как функции независимых величин.

В названии системы величин применяют символы величин, принятых за основные. Так система величин механики, в которой в качестве основных приняты длина (L), масса (M) и время (T), называется системой LMT .

Система основных величин, соответствующая Международной системе единиц (SI), обозначается символами $LMTI\Theta NJ$, обозначающими соответственно символы основных величин – длины (L), массы (M), времени (T), силы электрического тока (I), температуры (Θ), количества вещества (N) и силы света (J).

Основная ФВ – ФВ, входящая в систему и условно принятая в качестве независимой от других величин этой системы.

Производная ФВ – ФВ, входящая в систему и определяемая через основные величины этой системы.

Размерность ФВ – выражение в форме степенного одночлена, составленного из произведений символов основных ФВ в различных степенях и отражающее связь данной ФВ с ФВ, принятыми в данной системе величин за основные с коэффициентом пропорциональности, равным 1.

Показатель размерности ФВ – показатель степени, в которую возведена размерность основной ФВ, входящая в размерность производной ФВ. Показатель размерности основной ФВ в отношении самой себя равен единице.

Размерная ФВ – ФВ, в размерности которой хотя бы одна из основных ФВ возведена в степень, не равную нулю. Например, сила (F) в системе $LMTI\theta NJ$ является размерной величиной.

Безразмерная ФВ – ФВ, в размерность, которой основные ФВ входят в степени равной нулю. ФВ в одной системе величин может быть размерной, а в другой системе безразмерной. Например, электрическая постоянная в электростатической системе является безразмерной величиной, а в системе величин СИ имеет размерность.

Уравнение связи между величинами – уравнение, отражающее связь между величинами, обусловленную законами природы, в котором под буквенными символами понимают ФВ. Уравнение связи между величинами в конкретной измерительной задаче часто называют уравнением измерений.

Род ФВ – качественная определенность ФВ. Например: длина и диаметр детали – однородные величины; длина и масса детали – неоднородные величины.

Аддитивная ФВ – ФВ, разные значения которой могут быть суммированы, умножены на числовой коэффициент, разделены друг на друга. К аддитивным величинам относятся длина, масса, сила, давление, время, скорость и др.

Неаддитивная ФВ – ФВ, для которой суммирование, умножение на числовой коэффициент или деление друг на друга ее значений не имеет физического смысла (например, термодинамическая температура, твердость материала).

2.3. Единицы физических величин

Единица измерения ФВ – ФВ фиксированного размера, которой условно присвоено числовое значение, равное 1, и применяемая для количественного выражения однородных с ней ФВ.

На практике широко применяется понятие узаконенные единицы – система единиц и (или) отдельные единицы, установленные для применения в стране в соответствии с законодательными актами.

Система единиц ФВ – совокупность основных и производных единиц, образованная в соответствии с принципами для заданной системы физических величин.

Основная единица ФВ – единица основной ФВ в данной системе единиц.

Производная единица системы единиц ФВ – единица производной ФВ системы единиц, образованная в соответствии с уравнением, связывающим ее с основными единицами или с основными и уже определенными производными. Например: 1 м / с – единица скорости, образованная из основных единиц SI – метра и секунды; 1 Н – единица силы, образованная из основных единиц SI – килограмма, метра и секунды.

Важнейшие единицы международной системы (SI)

Величина		Единица		
Наименование	Размер- ность	Наименование	Обозначение	
			между- народное	русское
Основные единицы				
Длина	L	метр	m	м
Масса	M	килограмм	kg	кг
Время	T	секунда	s	с
Сила электриче- ского тока	I	ампер	A	А
Термодинамиче- ская температура	Θ	кельвин	К	К
Количество вещества	N	моль	mol	моль
Сила света	J	кандела	cd	кд
Некоторые производные единицы				
Площадь	L^2	квадратный метр	m^2	м ²
Объем	L^3	кубический метр	m^3	м ³
Скорость	$L\ T^{-1}$	метр на секунду	$m\ /\ s$	м / с

ГОСТ 8.417 устанавливает семь основных ФВ, с помощью которых создается все многообразие производных ФВ и обеспе-

чивается описание любых свойств физических объектов и явлений.

Метр – длина пути, проходимого светом в вакууме за интервал времени $1/299\,792\,458$ с.

Килограмм – единица массы, равная массе международного прототипа килограмма.

Секунда – время, равное $9\,192\,631\,770$ периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133, при отсутствии возмущения со стороны внешних полей.

Ампер – сила не изменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным проводникам бесконечной длины и ничтожно малого поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 м один от другого, вызвал бы на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н.

Кельвин – единица термодинамической температуры, равная $1/273,16$ части термодинамической температуры тройной точки воды.

Моль – количество вещества, содержащее столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде 12 массой $0,012$ кг. Структурные элементы могут быть атомами, молекулами, ионами и другими частицами.

Кандела – сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц, энергетическая сила света в этом направлении составляет $1/683$ Вт/ср.

Существуют следующие производные единицы системы единиц ФВ:

– образованные из основных единиц (например, единица площади – квадратный метр);

– имеющие специальные наименования и обозначения (например, единица частоты – герц).

При построении системы ФВ подбирается такая последовательность определяющих уравнений, в которой каждое последующее уравнение содержит только одну новую производную величину, что позволяет выразить эту величину через совокупность

ранее определенных величин, а, в конечном счете, через основные величины системы величин.

Системная единица ФВ – единица ФВ, входящая в принятую систему единиц. Основные, производные, кратные и дольные единицы SI являются системными. Например: 1 м; 1 м/с; 1 км; 1 нм.

Внесистемная единица ФВ – единица ФВ, не входящая в принятую систему единиц (например, миллиметр ртутного столба – мм рт. ст., бар – bar). Внесистемные единицы (по отношению к единицам SI) разделяются на четыре группы:

- допускаемые наравне с единицами SI;
- допускаемые к применению в специальных областях;
- временно допускаемые;
- устаревшие (недопускаемые).

Когерентная производная единица ФВ – производная единица ФВ, связанная с другими единицами системы единиц уравнением, в котором числовой коэффициент принят равным 1.

Когерентная система единиц ФВ – система единиц ФВ, состоящая из основных единиц и когерентных производных единиц. Кратные и дольные единицы от системных единиц не входят в когерентную систему.

Кратная единица ФВ – единица ФВ, в целое число раз большая системной или внесистемной единицы. Например: единица длины 1 км = 10^3 м, т. е. кратная метру; единица частоты 1 МГц (мегагерц) = 10^6 Гц, кратная герцу; единица активности радионуклидов 1 МБк (мегабеккерель) = 10^6 Бк, кратная беккерелю.

Дольная единица ФВ – единица ФВ, в целое число раз меньшая системной или внесистемной единицы. Например: единица длины 1 нм (нанометр) = 10^{-9} м; единица времени 1 мкс = 10^{-6} с являются дольными соответственно от метра и секунды.

2.4. Шкалы измерений: типы, принципы построения

На практике необходимо проводить измерения различных ФВ, характеризующих свойства веществ, тел, явлений и процессов. Некоторые свойства проявляются только количественно, другие – качественно. Количественные или качественные прояв-

ления любого свойства отражаются множествами, которые образуют шкалы измерения этих свойств. Шкала измерений количественного свойства является шкалой ФВ.

Шкала ФВ – упорядоченная последовательность значений ФВ, принятая на основании результатов точных измерений.

В соответствии с логической структурой проявления свойств шкалы измерений делятся на пять основных типов: наименований, порядка, интервалов, отношений и абсолютные шкалы.

Шкала наименований (шкала классификации) основана на приписывании объекту цифр (знаков), играющих роль простых имен: это приписывание служит для нумерации предметов только с целью их идентификации или для нумерации классов, причем, такой нумерации, что каждому из элементов соответствующего класса приписывается одна и та же цифра. Такое приписывание цифр выполняет на практике ту же функцию, что и наименование. Поэтому с цифрами, используемыми только как специфические имена, нельзя производить никаких арифметических действий. Поскольку данные шкалы характеризуются только отношениями эквивалентности, то в них отсутствует понятие нуля, «больше» или «меньше» и единицы измерения. Примером шкал наименований являются атласы цветов, предназначенные для идентификации цвета.

Шкала порядка (шкала рангов) предполагает упорядочение объектов относительно какого-то определенного свойства, то есть расположение их в порядке убывания или возрастания данного свойства. Полученный при этом упорядоченный ряд называют ранжированным рядом, а саму процедуру ранжированием.

По шкале порядка сравниваются между собой однородные объекты, у которых значения интересующих свойств неизвестны. Поэтому ранжированный ряд может дать ответ на вопросы типа – «что больше (меньше)» или, «что лучше (хуже)». Более подробную информацию – насколько больше или меньше, во сколько раз лучше или хуже, шкала порядка дать не может.

Результаты оценивания по шкале порядка не могут подвергаться никаким арифметическим действиям. Однако небольшое, усовершенствование шкалы порядка позволило применить ее для числового оценивания величин в тех случаях, когда отсутствует

единица величины. Для этого, расположив объекты в порядке возрастания (убывания) того или иного свойства, некоторые точки ранжированного ряда фиксируют в качестве отправных (реперных). Совокупность реперных точек образует некую «лестницу» – шкалу возможных проявлений соответствующего свойства. Реперным точкам могут быть поставлены в соответствие цифры, называемые баллами и, таким образом, появляется возможность оценивания, «измерения» данного свойства в баллах, по натуральной шкале.

Основным недостатком натуральных шкал является полное отсутствие уверенности в том, что интервалы между выбранными реперными точками являются равновеликими. Введенные числовые обозначения не могут быть использованы для выполнения математических операций.

Определение значения величин при помощи шкал порядка относится к операции оценивания, а не измерения, ввиду отсутствия единицы измерения. Оценивание по шкалам порядка является неоднозначным и весьма условным.

Шкала интервалов (шкала разностей). Эти шкалы являются дальнейшим развитием шкал порядка. Для их построения вначале устанавливают единицу ФВ. На шкале интервалов откладывается разность значений ФВ, сами же значения остаются неизвестными. Данная шкала состоит из одинаковых интервалов и произвольно выбрано начало – нулевая точка. Примерами шкал интервалов являются шкалы температур: Цельсия, Фаренгейта, Реомюра.

На температурной шкале Цельсия за начало отсчета разности температур принята температура таяния льда. С ней сравниваются все другие температуры. Для удобства пользования шкалой интервал между температурой таяния льда и температурой кипения воды разделен на 100 равных интервалов – градусов. Шкала Цельсия распространяется как в сторону положительных, так и отрицательных интервалов. Когда говорят, что температура воздуха равна 25 °С, это означает, что она на 25 градусов выше температуры, принятой за нулевую отметку шкалы (выше нуля).

На температурной шкале Фаренгейта тот же интервал разбит на 180 градусов. Следовательно, градус Фаренгейта по размеру меньше, чем градус Цельсия. Кроме того, начало отсчета

интервалов на шкале сдвинуто на 32 градуса в сторону низких температур.

Деление шкалы интервалов на равные части – градации – устанавливает единицу ФВ, что позволяет не только выразить результат измерения в числовой мере, но и оценить погрешность измерения.

Результаты измерений по шкале интервалов можно складывать друг с другом и вычитать друг из друга, то есть определять, насколько одно значение ФВ больше или меньше другого.

Шкала отношений описывает свойства эмпирических объектов. Она представляет собой интервальную шкалу с естественным началом. Если, например, за начало температурной шкалы принять абсолютный нуль (более низкой температуры в природе быть не может), то по такой шкале уже можно отсчитывать абсолютное значение температуры и определять не только, насколько температура одного тела больше температуры другого, но и во сколько раз больше или меньше. Примером шкалы отношений является: шкала термодинамической температуры и шкала масс.

В общем случае, при сравнении между собой двух ФВ, расположенные в порядке возрастания или убывания, образуют шкалу отношений. Она охватывает интервал значений от 0 до ∞ и, в отличие от шкалы интервалов, не содержит отрицательных значений.

Шкала отношений является самой совершенной, наиболее информативной. Результаты измерений по шкале отношений можно складывать между собой, вычитать, перемножать или делить.

Абсолютные шкалы. Под абсолютными шкалами понимают шкалы, обладающие всеми признаками шкал отношений, но дополнительно имеющие естественные однозначно определенные единицы измерения и не зависящие от принятой системы единиц измерений. Такие шкалы соответствуют относительным величинам: коэффициенту усиления, ослабления и т. д.

В случаях когда уровень познания явления не позволяет точно установить отношения, существующие между величинами данной характеристики, либо применение шкалы удобно и достаточно для практики, используют условные (эмпирические) шкалы порядка.

Условная шкала – это шкала ФВ, исходные значения которой выражены в условных единицах. Например, шкала вязкости Энглера, 12-балльная шкала Бофорта для измерения силы морского ветра.

Нередко условные шкалы называют неметрическими шкалами. Шкала твердости минералов Мооса, шкалы твердости металлов (Бринелля, Виккерса, Роквелла и др.).

Широкое распространение получили шкалы порядка с нанесенными на них реперными точками. К таким шкалам, например, относится шкала Мооса для определения твердости минералов, которая содержит 10 опорных (реперных) минералов с различными условными числами твердости: тальк – 1, гипс – 2, кальций – 3, флюорит – 4, апатит – 5, ортоклаз – 6, кварц – 7, топаз – 8, корунд – 9, алмаз – 10. Отнесение минерала к той или иной градации твердости осуществляется на основании эксперимента, который состоит в том, что испытуемый материал царапается опорным. Если после царапанья испытуемого минерала кварцем (7), а после ортоклаза (6) – не остается, то твердость испытуемого материала составляет более 6, но менее 7. Более точного ответа в этом случае дать невозможно.

В условных шкалах одинаковым интервалам между размерами данной величины не соответствуют одинаковые размерности чисел, отображающих размеры. С помощью этих чисел можно найти вероятности, моды, медианы, квантили, однако их нельзя использовать для суммирования, умножения и других математических операций.

2.5. Виды и методы измерения физических величин

Измерение физической величины – совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу ФВ, обеспечивающих нахождение соотношения (в явном или неявном виде) измеряемой величины с ее единицей и получение значения этой величины.

От термина «измерение» происходит термин «измерять», которым широко пользуются на практике. Также применяются такие термины, как «мерить», «обмерять», «замерять», «промерять», не вписывающиеся в систему метрологических терминов, их применять не следует. Не следует также применять такие вы-

ражения, как «измерение значения» (например, мгновенного значения напряжения или его среднего квадратического значения), т. к. значение величины – это уже результат измерений.

В тех случаях, когда невозможно выполнить измерение (не выделена величина как физическая и не определена единица измерений этой величины) практикуется оценивание таких величин по условным шкалам.

В простейшем случае, прикладывая линейку с делениями к какой-либо детали, по сути сравнивают ее размер с единицей, хранимой линейкой, и, произведя отсчет, получают значение величины (длины, высоты, толщины и других параметров детали). С помощью измерительного прибора сравнивают размер величины, преобразованной в перемещение указателя, с единицей, хранимой шкалой этого прибора, и проводят отсчет.

Вид измерений (рис. 2) – часть области измерений, имеющая свои особенности и отличающаяся однородностью измеряемых величин. Например, в области электрических и магнитных измерений могут быть выделены как виды измерений: измерения электрического сопротивления, электродвижущей силы, электрического напряжения, магнитной индукции и др.

Подвид измерений – часть вида измерений, выделяющаяся особенностями измерений однородной величины (по диапазону, по размеру величины и др.). Например, при измерении длины выделяют измерения больших длин (в десятках, сотнях, тысячах километров) или измерения сверхмалых длин – толщин пленок.

Метод измерений – прием или совокупность приемов сравнения измеряемой ФВ с ее единицей в соответствии с реализованным принципом измерений. Метод измерений обычно обусловлен устройством СИ.

Различают следующие методы прямых измерений: метод непосредственной оценки; метод сравнения с мерой; нулевой метод; метод измерений замещением; дифференциальный метод; метод противопоставления; метод совпадений.

Принцип измерений – физическое явление или эффект, положенное в основу измерений. Например: применение эффекта Джозефсона для измерения электрического напряжения; применение эффекта Пельтье для измерения поглощенной энергии ионизирующих излучений; применение эффекта Доплера для из-

мерения скорости; использование силы тяжести при измерении массы взвешиванием.



Рис. 2. Виды измерений

Равноточные измерения – ряд измерений какой-либо величины, выполненных одинаковыми по точности СИ в одних и тех же условиях с одинаковой тщательностью. Прежде чем обрабатывать ряд измерений, необходимо убедиться в том, что все измерения этого ряда являются равноточными.

Неравноточные измерения – ряд измерений какой-либо величины, выполненных различающимися по точности СИ и (или) в разных условиях. Ряд неравноточных измерений обрабатывают с учетом веса отдельных измерений, входящих в ряд.

Однократное измерение – измерение, выполненное один раз. Например, измерение конкретного момента времени по часам обычно производится один раз.

Многократное измерение – измерение ФВ одного и того же размера, результат которого получен из нескольких следующих друг за другом измерений, т. е. состоящее из ряда (не менее 4) однократных измерений.

Статическое измерение – измерение ФВ, принимаемой в соответствии с конкретной измерительной задачей за неизменную на протяжении времени измерения. Статические измерения имеют место тогда, когда измеряемая величина практически постоянна. Например: измерение длины детали при нормальной температуре; измерение размеров земельного участка.

Динамическое измерение – измерение изменяющейся по размеру ФВ. Динамические измерения связаны с ФВ, которые в процессе измерений претерпевают те или иные изменения во времени. Это подтверждает применение более чувствительных СИ, которые дают возможность обнаруживать изменение величин, ранее считавшихся постоянными, поэтому разделение измерений на динамические и статические является условным.

Абсолютное измерение – измерение, основанное на прямых измерениях одной или нескольких основных величин и (или) использовании значений физических констант. Понятие абсолютное измерение применяется как противоположное понятию относительное измерение и рассматривается как измерение величины в ее единицах. Например, измерение силы $F = m \cdot g$ основано на измерении основной величины – массы m и использовании физической постоянной g (в точке измерения массы).

Относительное измерение – измерение отношения величины к одноименной величине, играющей роль единицы, или измерение изменения величины по отношению к одноименной величине, принимаемой за исходную. Например, измерение активности радионуклида в источнике по отношению к активности радионуклида в однотипном источнике, аттестованном в качестве эталонной меры активности.

Прямое измерение – измерение, при котором искомое значение величины получают непосредственно, т. е. состоящие в непосредственном сравнении ФВ с ее мерой. Например, измере-

ние длины детали микрометром; измерение силы тока амперметром; измерение массы на весах.

Термин прямое измерение возник как противоположный термину косвенное измерение. Строго говоря, измерение всегда прямое и рассматривается как сравнение величины с ее единицей. В этом случае лучше применять термин прямой метод измерений.

Косвенное измерение – определение искомого значения ФВ на основании результатов прямых измерений других ФВ, функционально связанных с искомой величиной. Во многих случаях вместо термина косвенное измерение применяют термин косвенный метод измерений. Например, определение плотности D тела цилиндрической формы по результатам прямых измерений массы m , высоты h и диаметра цилиндра d , связанных с плотностью уравнением

$$D = \frac{m}{0,25\pi d^2 h} \quad (1)$$

Совокупные измерения – производимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых искомые значения величин определяют путем решения системы уравнений, получаемых при измерениях этих величин в различных сочетаниях. Для определения значений искомых величин число уравнений должно быть не меньше числа величин. Например, значение массы отдельных гирь набора определяют по известному значению массы одной из гирь и по результатам измерений (сравнений) масс различных сочетаний гирь.

Совместные измерения – производимые одновременно измерения двух или нескольких не одноименных величин для определения зависимости между ними.

Измерения максимально возможной точности, достижимой при существующем уровне техники. К ним относятся в первую очередь эталонные измерения, связанные с максимально возможной точностью воспроизведения установленных единиц ФВ, и измерения физических констант, прежде всего универсальных (например, абсолютного значения ускорения свободного падения и др.).

Контрольно-поверочные измерения, погрешность которых с определенной вероятностью не должна превышать некото-

рое заданное значение. К ним относятся измерения, выполняемые лабораториями государственного надзора за внедрением и соблюдением стандартов и состоянием измерительной техники и заводскими измерительными лабораториями с погрешностью заранее заданного значения.

Технические измерения, в которых погрешность результата определяется характеристиками СИ. Например, измерения, выполняемые в процессе производства на машиностроительных предприятиях, на щитах распределительных устройств электрических станций и др.

Метод непосредственной оценки – метод измерений, в котором значение величины определяют непосредственно по показывающему СИ. Например, измерение давления пружинным манометром, массы – на весах.

Метод сравнения с мерой – метод измерений, в котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой. Например: измерение массы на рычажных весах с уравновешиванием гирями (мерами массы с известным значением); измерение напряжения постоянного тока на компенсаторе сравнением с известной ЭДС нормального элемента.

Нулевой метод – метод сравнения с мерой, в котором результирующий эффект воздействия измеряемой величины и меры на прибор сравнения доводят до нуля. Например, измерения электрического сопротивления мостом с полным его уравновешиванием.

Метод измерений замещением – метод сравнения с мерой, в котором измеряемую величину замещают мерой с известным значением величины. Например, взвешивание с поочередным помещением измеряемой массы и гирь на одну и ту же чашку весов (метод Борда).

Дифференциальный метод – метод измерений, при котором измеряемая величина сравнивается с однородной величиной, имеющей известное значение, незначительно отличающееся от значения измеряемой величины, и при котором измеряется разность между этими двумя величинами. Метод позволяет получить результат высокой точности при использовании относительно грубых СИ. Например, измерения, выполняемые при поверке мер длины сравнением с эталонной мерой на компараторе.

Метод противопоставления – метод сравнения, при котором измеряемая величина и величина, воспроизводимая мерой, одновременно воздействуют на прибор сравнения. Например, определение массы на равноплечих весах с помещением измеряемой массы и уравнивающих ее гирь на двух чашках весов.

Метод совпадений – метод сравнения с мерой, в котором разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, измеряют, используя совпадения отметок шкал или периодических сигналов.

Контактный метод измерений – метод измерений, основанный на том, что чувствительный элемент прибора приводится в контакт с объектом измерения. Например: измерение диаметра вала измерительной скобой или контроль проходным и непроходным калибрами; измерение температуры тела термометром.

Бесконтактный метод измерений – метод измерений, основанный на том, что чувствительный элемент СИ не приводится в контакт с объектом измерения. Например: измерение температуры в доменной печи пирометром; измерение расстояния до объекта радиолокатором.

Методика выполнения измерений – установленная совокупность операций и правил при измерении, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с гарантированной точностью в соответствии с принятым методом. Обычно методика измерений регламентируется каким-либо нормативно-техническим документом.

Нормальные условия измерений – условия измерения, характеризующие совокупностью значений или областей значений влияющих величин, при которых изменением результата измерений пренебрегают вследствие малости. Нормальные условия измерений устанавливаются в нормативных документах на средства измерений конкретного типа или по их поверке (калибровке).

Рабочие условия измерений – условия измерений, при которых значения влияющих величин находятся в пределах рабочих областей. Например: для измерительного конденсатора нормируют дополнительную погрешность на отклонение температуры окружающего воздуха от нормальной; для амперметра нормируют изменение показаний, вызванное отклонением частоты переменного тока от 50 Гц (50 Гц в данном случае принимают за

нормальное значение частоты).

Предельные условия измерений – условия измерений, характеризующиеся экстремальными значениями измеряемой и влияющих величин, которые СИ может выдержать без разрушений его метрологических характеристик.

2.6. Средства измерений

Средства измерительной техники – обобщающее понятие, охватывающее технические средства, специально предназначенные для измерений. К средствам измерительной техники относят СИ и их совокупности (измерительные системы, измерительные установки), измерительные принадлежности, измерительные устройства.

Средство измерений (СИ) – техническое средство, предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящие и (или) хранящие ЕФВ, размер которой принимают неизменным (в пределах установленной погрешности) в течение известного интервала времени.

Существует несколько классификационных признаков, что объясняется многообразием СИ и их использованием в различных областях науки и техники.

1. По роли в системе обеспечения единства измерений СИ делятся на:

- метрологические, предназначенные для воспроизведения единицы и (или) ее хранения или передачи размера единицы РСИ;

- рабочие, применяемые для измерений, не связанных с передачей размера единиц.

Подавляющее большинство используемых на практике СИ принадлежит ко второй группе. Метрологические СИ весьма немногочисленны. Они разрабатываются, производятся и эксплуатируются в специализированных научно-исследовательских центрах.

2. По уровню автоматизации все СИ делятся на три группы:

- неавтоматические;

- автоматизированные, производящие в автоматическом режиме одну или часть измерительной операции;

– автоматические, производящие в автоматическом режиме измерения и все операции, связанные с обработкой их результатов, регистрацией, передачей данных или выработкой управляющих сигналов.

В настоящее время все большее распространение получают автоматизированные и автоматические СИ, что связано с широким использованием в них электронной и микропроцессорной техники.

3. По уровню стандартизации СИ подразделяются на:

- стандартизованные, изготовленные в соответствии с требованиями государственного или отраслевого стандарта;
- нестандартизованные (уникальные), предназначенные для решения специальной измерительной задачи.

В основном СИ являются стандартизованными. Они серийно выпускаются промышленными предприятиями и в обязательном порядке подвергаются государственным испытаниям. Не стандартизованные СИ разрабатываются специализированными научно-исследовательскими организациями и выпускаются единичными экземплярами. Они не проходят государственных испытаний, их характеристики определяются при метрологической аттестации.

4. По отношению к измеряемой ФВ СИ делятся на:

- основные – СИ той ФВ, значение которой необходимо получить в соответствии с измерительной задачей;
- вспомогательные – СИ той ФВ, влияние которой на основное СИ или объект измерения необходимо учесть для получения результатов измерения требуемой точности.

Рабочее средство измерений (РСИ) – СИ, предназначенное для измерений, не связанных с передачей размера единицы другим СИ.

Основное средство измерений – СИ той физической величины, значение которой необходимо получить в соответствии с измерительной задачей.

Вспомогательное средство измерений – СИ той ФВ, влияние которой на основное СИ или объект измерений необходимо учитывать для получения результатов измерений требуемой точности.

ности. Например, термометр для измерения температуры газа в процессе измерений объемного расхода этого газа.

Стандартизованное средство измерений – СИ, изготовленное и применяемое в соответствии с требованиями государственного или отраслевого стандарта. Обычно стандартизованные СИ подвергают испытаниям и вносят в Госреестр.

Нестандартизованное средство измерений – СИ, стандартизация требований к которому признана нецелесообразной.

Автоматическое средство измерений – СИ, производящее без непосредственного участия человека измерения и все операции, связанные с обработкой результатов измерений, их регистрацией, передачей данных или выработкой управляющего сигнала.

Автоматическое СИ, встроенное в автоматическую технологическую линию, нередко называют измерительный автомат или контрольный автомат. Применяют также понятие измерительные работы, под которыми нередко понимают разновидность контрольно-измерительных машин, отличающихся хорошими манипуляционными свойствами, высокими скоростями перемещений и измерений.

Автоматизированное средство измерений – СИ, производящее в автоматическом режиме одну или часть измерительных операций. Например: барограф (измерение и регистрация результатов); электрический счетчик электроэнергии (измерение данных нарастающим итогом).

Мера физической величины – СИ, предназначенное для воспроизведения и (или) хранения ФВ одного или нескольких заданных размеров, значения которых выражены в установленных единицах и известны с необходимой точностью.

Различают следующие разновидности мер:

- однозначная мера – мера, воспроизводящая ФВ одного размера (например, гиря 1 кг);
- многозначная мера – мера, воспроизводящая ФВ разных размеров (например, штриховая мера длины);
- набор мер – комплект мер одного размера одной и той же ФВ, предназначенных для применения на практике, как в отдельности, так и в различных сочетаниях (например, набор концевых мер длины);

– магазин мер – набор мер, конструктивно объединенных в единое устройство, в котором имеются приспособления для их соединения в различных комбинациях (например, магазин электрических сопротивлений).

При оценивании величин по условным (неметрическим) шкалам, имеющим реперные точки, в качестве «мер» нередко выступают вещества или материалы с приписанными им условными значениями величин. Так, для шкалы Мооса мерами твердости являются минералы различной твердости. Приписанные им значения твердости образуют ряд реперных точек условной шкалы.

Измерительный прибор – СИ, предназначенное для получения значений измеряемой ФВ в установленном диапазоне.

По способу индикации значений измеряемой величины измерительные приборы разделяют на показывающие и регистрирующие. По действию измерительные приборы разделяют на интегрирующие и суммирующие. Различают также приборы прямого действия и приборы сравнения, аналоговые и цифровые приборы, самопишущие и печатающие приборы.

Измерительная установка – совокупность функционально объединенных мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей и других устройств, предназначенная для измерений одной или нескольких ФВ и расположенная в одном месте.

Измерительную установку, применяемую для поверки, называют поверочной установкой. Измерительную установку, входящую в состав эталона, называют эталонной установкой. Некоторые большие измерительные установки называют измерительными машинами.

Измерительная система – совокупность функционально объединенных мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей, ЭВМ и других технических средств, размещенных в разных точках контролируемого объекта и т. п. с целью измерений одной или нескольких ФВ, свойственных этому объекту, и выработки измерительных сигналов в разных целях.

В зависимости от назначения измерительные системы разделяют на измерительные информационные, измерительные контролирующие, измерительные управляющие системы и др. Изме-

рительную систему, перестраиваемую в зависимости от изменения измерительной задачи, называют гибкой измерительной системой.

Измерительная система теплоэлектростанции, позволяющая получать измерительную информацию о ряде ФВ в разных энергоблоках. Она может содержать сотни измерительных каналов. Радионавигационная система для определения местоположения различных объектов, состоящая из ряда измерительно-вычислительных комплексов, разнесенных в пространстве на значительное расстояние друг от друга.

Измерительно-вычислительный комплекс – функционально объединенная совокупность СИ, ЭВМ и вспомогательных устройств, предназначенная для выполнения в составе измерительной системы конкретной измерительной задачи.

Измерительный преобразователь – техническое средство с нормативными метрологическими характеристиками, служащее для преобразования измеряемой величины в другую величину или измерительный сигнал, удобный для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи.

Измерительный преобразователь или входит в состав какого-либо измерительного прибора (измерительной установки, измерительной системы и др.), или применяется вместе с каким-либо СИ. Например: термопара в термоэлектрическом термометре; измерительный трансформатор тока; электропневматический преобразователь.

По характеру преобразования различают аналоговые, цифро-аналоговые, аналого-цифровые преобразователи. По месту в измерительной цепи различают первичные и промежуточные преобразователи. Выделяют также масштабные и передающие преобразователи.

Первичный измерительный преобразователь – измерительный преобразователь, на который непосредственно воздействует измеряемая ФВ, то есть первый преобразователь в измерительной цепи измерительного прибора (установки, системы).

В одном СИ может быть несколько первичных преобразователей. Например: термопара в цепи электрического термометра; ряд первичных преобразователей измерительной контролирующей

щей системы, расположенных в разных точках контролируемой среды.

Датчик – конструктивно обособленный первичный преобразователь, от которого поступают измерительные сигналы.

Датчик может быть вынесен на значительное расстояние от СИ, принимающего его сигналы. Например, датчики запущенного метеорологического радиозонда передают измерительную информацию о температуре, давлении, влажности и других параметрах атмосферы.

В области измерений ионизирующих излучений применяют термин детектор.

Средство сравнения – техническое средство или специально создаваемая среда, посредством которых возможно выполнять сравнения друг с другом мер однородных величин или показания измерительных приборов. Иногда техническое средство снабжается СИ, обеспечивающим функцию сравнения.

Рычажные весы, на одну чашку которых устанавливается эталонная гиря, а на другую поверяемая, – есть средство их сравнения. Температурное поле, создаваемое термостатом для сравнения показаний термометров, является необходимой средой. Давление среды, создаваемое компрессором, может быть измерено поверяемым и эталонным манометрами одновременно. На основании показаний эталонного прибора градуируется поверяемый прибор.

Компаратор – средство сравнения, предназначенное для сличения мер однородных величин. Например: рычажные весы; компаратор для сличения нормальных элементов.

Измерительная цепь – совокупность элементов СИ, образующих непрерывный путь прохождения измерительного сигнала одной ФВ от входа до выхода. Измерительную цепь измерительной системы называют измерительным каналом.

Измерительное устройство – часть измерительного прибора (установки или системы), связанная с измерительным сигналом и имеющая обособленную конструкцию и назначение.

Измерительным устройством может быть названо регистрирующее устройство измерительного прибора (включающее ленту для записи, лентопротяжный механизм и пишущий элемент), измерительный преобразователь.

Индикатор – техническое средство или вещество, предназначенное для установления наличия какой-либо ФВ или превышения уровня ее порогового значения.

Индикатором наличия (или отсутствия) измерительного сигнала может служить осциллограф. Индикатор близости к нулю сигнала называют нулевым или нуль-индикатором. При химических реакциях в качестве индикаторов применяют лакмусовую бумагу и какие-либо вещества. В области измерений ионизирующих излучений индикатор часто дает световой и (или) звуковой сигнал о превышении уровнем радиации его порогового значения.

Чувствительный элемент средства измерений – часть измерительного преобразователя в измерительной цепи, воспринимающая входной измерительный сигнал.

Измерительный механизм средства измерений – совокупность элементов СИ, которые обеспечивают необходимое перемещение указателя (стрелки, светового пятна и т. д.). Например, измерительный механизм милливольтметра состоит из постоянного магнита и подвижной рамки.

Показывающее устройство средства измерений – совокупность элементов СИ, которые обеспечивают визуальное восприятие значений измеряемой величины или связанных с ней величин.

Указатель средства измерений – часть показывающего устройства, положение которой относительно отметок шкалы определяет показание СИ. Например, у барометра-анероида указателем является подвижная стрелка, а у ртутного термометра – поверхность столбика жидкости.

Регистрирующее устройство средства измерений – совокупность элементов СИ, которые регистрируют значение измеряемой или связанной с ней величины.

Шкала средства измерений – часть показывающего устройства СИ, представляющая собой упорядоченный ряд отметок вместе со связанной с ними нумерацией. Отметки на шкалах могут быть нанесены равномерно или неравномерно. В связи с этим шкалы называют равномерными или неравномерными.

Отметка шкалы – знак на шкале СИ (черточка, зубец, точка и др.), соответствующий некоторому значению ФВ

Числовая отметка шкалы – отметка шкалы СИ, у которой проставлено число.

Деление шкалы – промежуток между двумя соседними отметками шкалы средства измерений.

Цена деления шкалы – разность значения величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы СИ.

Длина шкалы – длина линии, проходящей через центры всех самых коротких отметок шкалы СИ и ограниченной начальной и конечной отметками. Линия может быть реальной или воображаемой, кривой или прямой. Длина шкалы выражается в единицах длины независимо от единиц, указанных на шкале.

Начальное значение шкалы – наименьшее значение измеряемой величины, которое может быть отсчитано по шкале СИ. Например, для медицинского термометра начальным значением шкалы является $34,3\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Конечное значение шкалы – наибольшее значение измеряемой величины, которое может быть отсчитано по шкале СИ. Например, для медицинского термометра конечным значением шкалы является $42\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Табло цифрового измерительного прибора – показывающее устройство цифрового измерительного прибора.

2.7. Метрологические характеристики средств измерений

Метрологическая характеристика средства измерений (МХ СИ) – характеристика одного из свойств СИ, влияющая на результат измерений и на его погрешность. Для каждого типа СИ устанавливают свои МХ.

МХ, устанавливаемые нормативно-техническими документами, называют нормируемыми МХ, а определяемые экспериментально – действительными МХ.

Номинальное значение меры – значение величины, указанное на мере или приписанное ей. Например: резисторы с номинальным значением 1 Ом ; гиря с номинальным значением 1 кг . Нередко номинальное значение указывают на мере.

Действительное значение меры – значение величины, приписанное мере на основании ее калибровки или поверки.

В состав государственного эталона единицы массы входит платиноиридиевая гиря с номинальным значением массы 1 кг, тогда как действительное значение ее массы составляет 1,000000087 кг, полученное в результате международных сличений с международным эталоном килограмма, хранящимся в Международном Бюро Мер и Весов (МБМВ) (в данном случае это калибровка).

Класс точности средства измерений – обобщенная характеристика данного типа СИ, как правило, отражающая уровень их точности, выражаемая пределами допускаемых основной и дополнительных погрешностей, а также другими характеристиками, влияющими на точность.

Класс точности дает возможность судить о том, в каких пределах находится погрешность СИ одного типа, но не является непосредственным показателем точности измерений, выполняемых с помощью каждого из этих средств. Это важно при выборе СИ в зависимости от заданной точности измерений.

Класс точности СИ конкретного типа устанавливают в стандартах технических требований (условий) или в других нормативных документах.

Метрологическая исправность средства измерений – состояние СИ, при котором все нормируемые МХ соответствуют установленным требованиям.

Метрологическая надежность средства измерений – надежность СИ в части сохранения его метрологической исправности.

Метрологический отказ средства измерений – выход МХ СИ за установленные пределы. Например, если погрешность СИ класса точности 0,01 стала превышать 0,01 %, то это значит, что произошел метрологический отказ и СИ уже не соответствует установленному ранее классу точности. Если не установлены технические неполадки, то СИ может быть присвоен другой, более низкий класс точности.

Каждому виду средств измерений приписываются определенные номинальные (в данном случае близкие к теоретическим) МХ. Реальные же характеристики СИ, как правило, не совпадают с номинальными, что и определяет их инструментальные погрешности.

К МХ СИ относятся те, которые оказывают влияние на результаты и погрешности измерений. С помощью этих характеристик оценивается погрешность измерений, выполняемых используемыми СИ в известных условиях. Для совокупности РСИ определенного типа данные о МХ содержатся в нормах, установленных в соответствующих нормативно-технических документах. Причем отдельный экземпляр СИ должен иметь МХ, не выходящие за пределы, оговоренные в вышеуказанных документах.

СИ могут применяться в нормальных и рабочих условиях. Эти условия для конкретных видов СИ установлены в стандартах или технических условиях.

Нормальным условиям применения СИ должен удовлетворять ряд следующих (основных) требований:

- температура окружающего воздуха $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$;
- относительная влажность $(65 \pm 15) \%$;
- атмосферное давление $(100 \pm 4) \text{ кПа}$;
- напряжение питающей сети $(220 \pm 4) \text{ В}$ и $(115 \pm 2,5) \text{ В}$;
- частота сети $(50 \pm 1) \text{ Гц}$ и $(400 \pm 12) \text{ Гц}$.

Как следует из перечисленных требований, нормальные условия применения СИ характеризуются диапазоном значений влияющих на них величин типа климатических факторов и параметров электропитания.

Рабочие условия применения СИ определяются диапазоном значений влияющих величин не только климатического характера и параметров электропитания, но и типа механических воздействий. В частности, диапазон климатических воздействий делится на ряд групп, охватывающих широкий диапазон изменения окружающей температуры.

Одной из важнейших МХ является погрешность СИ, позволяющая оценить инструментальную погрешность (точность) измерения ими ФВ.

При использовании СИ принципиально важно знать степень соответствия информации об измеряемой величине, содержащейся в выходном сигнале, ее истинному значению. С этой целью для каждого СИ вводятся и нормируются определенные МХ. Номенклатура МХ, правила выбора комплексов нормируемых МХ для СИ и способы их нормирования определяются стандартом

ГОСТ 8.009 «ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений».

Перечень нормируемых МХ делится на шесть основных групп:

- МХ для определения результатов измерений;
- МХ для погрешностей СИ;
- МХ чувствительности СИ к влияющим факторам;
- динамические характеристики СИ;
- МХ влияния на погрешность;
- неинформативные параметры выгодного сигнала.

МХ СИ позволяют:

- определять результаты измерений и рассчитывать оценки характеристик инструментальной составляющей погрешности измерения в реальных условиях применения СИ;
- рассчитывать МХ каналов измерительных систем, состоящих из ряда СИ с известными МХ;
- производить оптимальный выбор СИ, обеспечивающих требуемое качество измерений при известных условиях их применения;
- сравнивать СИ различных типов с учетом условий применения.

2.8. Эталоны

Эталон единицы физической величины – СИ (или комплекс СИ), предназначенное для воспроизведения и (или) хранения единицы и передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме СИ и утвержденное в качестве эталона в установленном порядке.

Конструкция эталона, его свойства и способ воспроизведения единицы определяются природой данной ФВ и уровнем развития измерительной техники в данной области измерений. Эталон должен обладать, по крайней мере, тремя связанными друг с другом существенными признаками – неизменностью, воспроизводимостью и сличаемостью.

Первичный эталон – эталон, обеспечивающий воспроизведение единицы с наивысшей в стране (по сравнению с другими эталонами той же единицы) точностью. В случае когда одним первичным эталоном технически нецелесообразно обслуживать

весь диапазон измеряемой величины, создают несколько первичных эталонов, охватывающих части этого диапазона с таким расчетом, чтобы был охвачен весь диапазон. В этом случае проводят согласование размеров единиц, воспроизводимых «соседними» первичными эталонами.

Вторичный эталон – эталон, получающий размер единицы непосредственно от первичного эталона данной единицы.

Эталон сравнения – эталон, применяемый для сличений эталонов, которые по тем или иным причинам не могут быть непосредственно сличены друг с другом.

Исходный эталон – эталон, обладающий наивысшими МХ (в данной лаборатории, организации, на предприятии), от которого передают размер единицы подчиненным эталонам и имеющимся СИ. Исходным эталоном в стране служит первичный эталон, исходным эталоном для республики, региона, министерства (ведомства) или предприятия может быть вторичный или рабочий эталон. Вторичный или рабочий эталон, являющийся исходным эталоном для министерства (ведомства) нередко называют ведомственным эталоном. Эталоны, стоящие по поверочной схеме ниже исходного эталона, обычно называют подчиненными эталонами.

Государственный первичный эталон – первичный эталон, признанный решением уполномоченного на то государственного органа в качестве исходного на территории государства. Например, государственные эталоны метра, килограмма, секунды, ампера, кельвина, канделы, ньютона и т. д.

Рабочий эталон – эталон, предназначенный для передачи размера единицы РСИ.

Термин рабочий эталон заменил собой термин образцовое СИ, что сделано в целях упорядочения терминологии и приближения ее к международной. При необходимости рабочие эталоны подразделяют на разряды (1-й, 2-й, ..., n -й). В этом случае передаче размера единицы осуществляют через цепочку соподчиненных по разрядам рабочих эталонов. При этом от последнего рабочего эталона в этой цепочке размер единицы передают РСИ.

Национальный эталон – эталон, признанный официальным решением служить в качестве исходного для страны.

Данное определение по существу совпадает с определением понятия государственный эталон. Это свидетельствует о том, что термины государственный эталон и национальный эталон отражают одно и то же понятие. Вследствие этого термин национальный эталон применяют в случаях проведения сличения эталонов, принадлежащих отдельным государствам, с международным эталоном или при проведении так называемых круговых сличений эталонов ряда стран.

Международный эталон – эталон, принятый по международному соглашению в качестве международной основы для согласования с ним размеров единиц, воспроизводимых и хранимых национальными эталонами. Международный прототип килограмма, хранимый в МБМВ, утвержден 1-й Генеральной конференцией по мерам и весам (ГКМВ).

Одиночный эталон – эталон, в составе которого имеется одно СИ (мера, измерительный прибор, эталонная установка) для воспроизведения и (или) хранения единицы.

Групповой эталон – эталон, в состав которого входит совокупность СИ одного типа, номинального значения или диапазона измерений, применяемых совместно для повышения точности воспроизведения единицы или ее хранения. Групповые эталоны подразделяют на групповые эталоны постоянного или переменного составов.

Эталонный набор – эталон, состоящий из совокупности СИ, позволяющих воспроизводить и (или) хранить единицу в диапазоне, представляющем объединение диапазонов указанных средств. Эталонные наборы создаются в тех случаях, когда необходимо охватить определенную область значений ФВ. Например, эталонные разновесы (наборы эталонных гирь) и эталонные наборы ареометров.

Транспортируемый эталон – эталон (иногда специальной конструкции), предназначенный для его транспортирования к местам поверки (калибровки) СИ или сличений эталонов данной единицы.

Хранение эталона – совокупность операций, необходимых для поддержания МХ эталона в установленных пределах.

При хранении первичного эталона выполняют регулярные его исследования, включая сличения с национальными эталонами

других стран с целью повышения точности воспроизведения единицы и совершенствования методов передачи ее размера.

Для руководства работ по хранению государственных эталонов устанавливают специальную категорию должностных лиц – ученых хранителей государственных эталонов, назначаемых из числа ведущих в данной области специалистов-метрологов.

Эталонная база страны – совокупность государственных первичных и вторичных эталонов, являющаяся основой обеспечения единства измерений в стране.

Эталонная установка – измерительная установка, входящая в состав эталона. Эталон может состоять из нескольких эталонных установок. Например, в состав государственного первичного эталона единицы активности радионуклидов входит шесть эталонных установок.

Поверочная установка – измерительная установка, укомплектованная рабочими эталонами и предназначенная для поверки РСИ и подчиненных рабочих эталонов.

Эталоны специально классифицируют в зависимости от метрологического назначения (рис. 3).

Первичный эталон обеспечивает воспроизведение единицы с наивысшей в стране точностью.

Специальный эталон служит для воспроизведения единицы в условиях, в которых первичный эталон не может использоваться и прямая передача размера единицы от первичного эталона с требуемой точностью технически неосуществима (например, на высоких и сверхвысоких частотах, в начале и конце участков диапазонов измерений и т. д.). Первичные и специальные эталоны являются исходными для страны, их утверждают в качестве государственных. Все эталоны характеризуются неисключенной систематической погрешностью воспроизведения соответствующей единицы и относительным среднеквадратическим отклонением результата измерения размера этой единицы. Первая величина показывает точность эталона по отношению к принятому определению единицы и важна как для обеспечения правильности измерений, так и для их единства в международном масштабе. Вторая характеризует воспроизводимость эталоном размера единицы и является важнейшей характеристикой обеспечения единства измерений в стране.

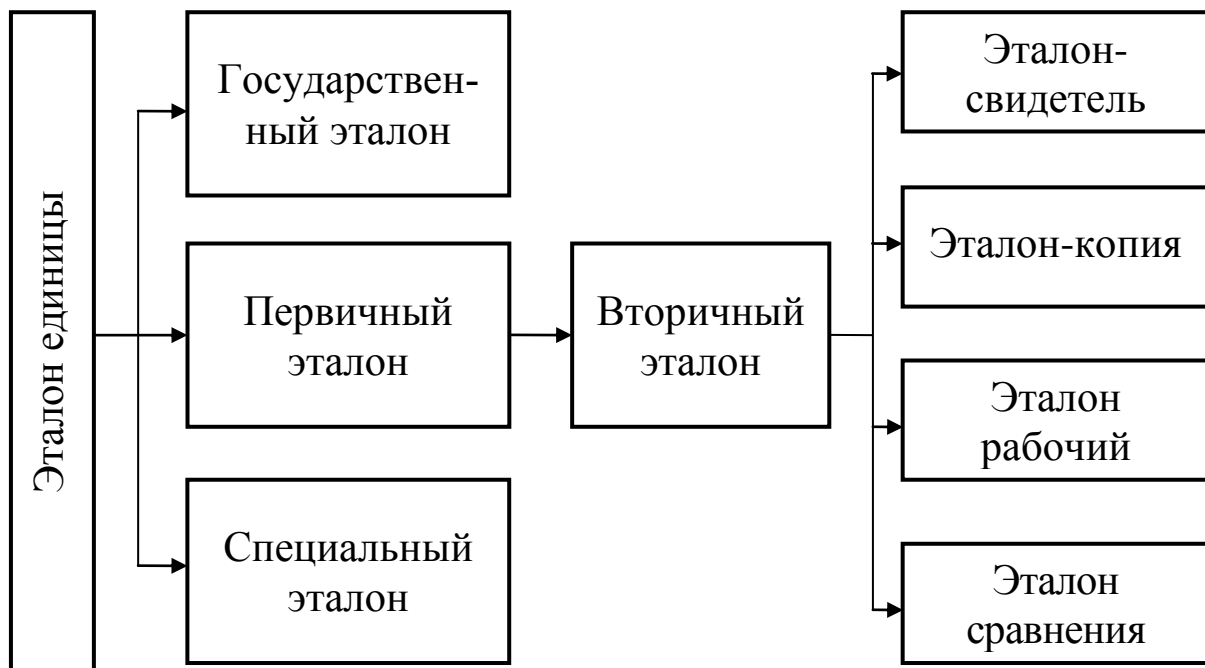


Рис. 3. Классификация эталонов

Вторичный эталон – эталон, значение которого устанавливается по первичному эталону и он занимает подчиненное положение. Вторичные эталоны подразделяются на эталоны-копии, эталоны сравнения и рабочие эталоны.

Эталон-копия предназначен для передачи размера единицы рабочим эталонам. Благодаря этому первичный эталон разгружается от текущих работ по передаче размера единицы, что повышает срок его службы.

Эталон сравнения применяется для взаимного сличения эталонов, которые по тем или иным причинам нельзя непосредственно сравнивать друг с другом (например, международные сличения эталонов).

Рабочие эталоны являются наиболее распространенной категорией вторичных эталонов, и они предназначены для проверки образцовых и наиболее точных рабочих средств измерений. Отметим, что рабочими называют такие средства, которые применяются для измерений, не связанных с передачей размера единиц.

Основные свойства эталонов:

Неизменность – свойство эталона удерживать неизменным размер воспроизводимой им единицы в течение длительного ин-

тервала времени. При этом все изменения, зависящие от внешних условий, должны быть строго определенными функциями величин, доступных точному измерению. Реализация этих требований привела к идее создания «естественных» эталонов различных величин, основанных на физических постоянных.

Воспроизводимость – возможность воспроизведения единицы ФВ (на основе ее теоретического определения) с наименьшей погрешностью для существующего уровня развития измерительной техники. Это достигается путем постоянного исследования эталона в целях определения систематических погрешностей и их исключения путем введения соответствующих поправок.

Сличаемость – возможность сличения с эталоном других СИ, нижестоящих по поверочной схеме, в первую очередь вторичных эталонов, с наивысшей точностью для существующей техники измерения. Это свойство предполагает, что эталоны по своему устройству и действию не вносят каких-либо искажений в результаты сличения и сами не претерпевают изменений в результате сличений.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРНОСТЕЙ

В соответствии со стандартом ISO 31/0 размерность величин следует обозначать знаком \dim . Например, размерность скорости $\dim v = LT^{-1}$. Чтобы найти размерность производной ФВ в некоторой системе величин, надо в правую часть определяющего уравнения этой величины вместо обозначений величин подставить их размерности (см. табл. 1). Так, например, поставив в определяющее уравнение скорости равномерного движения $v = ds / dt$ вместо ds размерность длины L и вместо dt размерность времени T , получим:

$$\dim v = L / T = LT^{-1}.$$

Подставив в определяющее уравнение ускорения $a = dv / dt$ вместо dt размерность времени T и вместо dv найденную выше размерность скорости, получим

$$\dim a = LT^{-1} / T = LT^{-2}.$$

Зная размерность ускорения по определяющему уравнению силы $F = ma$, получим:

$$\dim F = M \cdot LT^{-2} = LMT^{-2}.$$

Зная размерность силы, можно найти размерность работы, затем размерность мощности и т. д.

Задача: Работа определяется по зависимости $A = F \cdot l$, где сила $F = m \cdot a$, m – масса перемещаемого тела, a – его ускорение, l – длина перемещения. Определить размерность работы, выраженную через размерности основных величин.

Решение:

$$\dim a = \left[\frac{m}{c^2} \right] = \left[\frac{L}{T^2} \right] = [LT^{-2}]$$

$$\dim l = [m] = [L]$$

$$\dim m = [kg] = [M]$$

$$\dim A = F \cdot l = [LT^{-2} \cdot M \cdot L] = ML^2T^{-2}$$

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить основные теоретические положения.
2. Оформить отчет. Отчет должен содержать: наименование и цель работы; описание основных теоретических положений; ответы на контрольные вопросы и решение задач по определению размерностей, выраженных через размерности основных физических величин.

Задачи по определению размерностей назначает преподаватель индивидуально каждому студенту в количестве не менее 2.

1. $S = vt$
2. $E = mc^2$
3. $P = mg$
4. $M = F \cdot l$
5. $\rho = m / V$
6. $p = F/S$
7. $P = A / c$
8. $W_{nn} = Gh = mh$

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что изучает и как подразделяется метрология?
2. Какие существуют направления и объекты измерения в метрологии?
3. Чем отличается величина от ФВ?
4. Что такое размер ФВ?
5. Какими бывают ФВ?
6. Что такое истинное и действительное значения ФВ?
7. Что такое измерение ФВ?
8. Что такое размерность ФВ?
9. Как определить размерность производной ФВ?
10. Чем отличаются основные ФВ от производных ФВ?
11. Какими бывают единицы ФВ?
12. Какие типы шкал существует?
13. Что такое шкала наименований?
14. Что такое шкала порядка, шкала интервалов?
15. Что такое шкала отношений, условная шкала?
16. Что такое однократные и многократные измерения?
17. Как различают прямые измерения?
18. Как различают измерения по способу получения информации измерения?
19. Как различают измерения по количеству измерительной информации?
20. Как различают измерения по способу определения значения измеряемой величины?

21. Как различают измерения по условиям, определяющим точность результата измерения?
22. Что такое статические и динамические измерения?
23. Что такое абсолютное и относительное измерение; прямое и косвенное измерение?
24. Что такое вид измерений?
25. Какие существуют методы измерений?
26. Дайте определение СИ?
27. По каким признакам классифицируется СИ?
28. Дайте определение измерительному прибору, преобразователю, установке, системе?
29. Какие существуют разновидности мер?
30. Что понимается под МХ СИ?
31. Какие бывают эталоны, дайте им определения?
32. Какими свойствами обладают эталоны?
33. Как классифицируют в зависимости от метрологического назначения эталоны?
34. В чем заключается система передачи размеров единиц?
35. Что такое ОСИ?

6. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аристов, А. И. Метрология, стандартизация, сертификация: учеб. для вузов / А. И. Аристов, Л. И. Карпов [и др.]. – Москва: Академия, 2008. – 384 с.
2. Мороз, В. Г. Метрология, стандартизация, сертификация: учеб. пособие / В. Г. Мороз, Л. М. Духовный [и др.]. – Москва: МГИУ, 2007. – 520 с.
3. Дубов, Г. М. Методы и средства измерений, испытаний и контроля : учеб. пособие / Г. М. Дубов, Д. М. Дубинкин; ГОУ ВПО «Кузбас. гос. техн. ун-т». – Кемерово, 2011. – 224 с.
4. РМГ 29–99. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения: Взамен ГОСТ 16263–70; Введ. 01.01.2001. – Минск: Изд-во стандартов, 2000. – 46 с.

ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ №2 «ЧИСЛОВЫЕ И ПРЕДЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ В ПРОЦЕССАХ КОНТРОЛЯ»

Составитель: Баштанов В. Г.

1. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ В ПРОЦЕССАХ КОНТРОЛЯ

Процессы контроля изделий играют очень важную роль в машиностроительном производстве. Они являются частью технологических процессов, одновременно с операциями обработки деталей. Функциональное назначение детали определяется совокупностью величин – размеры, форма, физико-механические характеристики и др. Для каждой величины определяется диапазон (допуск), при нахождении в котором её значения деталь считается годной. По мере превращения заготовки в деталь допуски на каждом этапе обработки изменяются.

Контроль позволяет своевременно отсеять бракованные детали и обеспечить стабильный процесс сборки изделия из годных деталей, узлов, агрегатов. Правильная разработка процессов контроля обеспечивает высокую эффективность производства и качество продукции.

Любая операция контроля включает в себя:

- определение границ допуска параметра или контрольных границ (верхней и нижней);
- измерение или испытание детали для получения информации о значении контролируемой величины;
- сравнение полученного значения с границами и отнесение детали в группу годных, исправимого или окончательного брака.

Для контрольных измерений (испытаний) необходимо соответствующее оборудование – средства измерений, приборы, приспособления, испытательные машины и др.

Методы измерений делятся на две группы – числовые и предельные, каждая из которых эффективна в своих условиях производства. Решение о выборе той или иной группы для каждой операции контроля важно для экономической эффективности системы контроля в целом.

2. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

2.1. Числовые измерения.

Средства для числовых измерений несут в себе ряд опорных значений (шкалу), с которыми сравнивается значение измеряемой величины.

Результат измерений получается в форме:

$$X \pm \Delta, \quad (1)$$

где X – номинальное значение величины,

Δ – абсолютная погрешность.

Номинальное значение может непосредственно выводиться на цифровом устройстве индикации средства (рисунок 1).



Рис. 1. Микрометр с цифровым устройством индикации

Для других видов устройств индикации по шкале находятся промежуточные отсчёты, по которым рассчитывается номинальное значение. Например, для шкалы микрометра на рисунке 2:

$$X = d_{\min} + \sum_{i=1}^k a_i \cdot n_i = 25 + 0,5 \cdot 11 + 0,01 \cdot 28 = 30,78, \text{ мм} \quad (2)$$



Рис. 2. Шкала микрометра

Для повышения достоверности измерений их обычно производят несколько раз, получая ряд промежуточных чисел, после обработки которых находят окончательный результат.

Процесс измерения числовым методом достаточно длителен и трудоемок и часто требует высокой квалификации оператора.

При контроле полученное номинальное значение сравнивают с границами допуска (ВГД, НГД) или контрольными границами (ВКГ, НКГ) и в зависимости от результата принимают решение. Например, в таблице 1 приведен план контроля диаметра отверстия.

Таблица 1.

План контроля числовым методом

Результат сравнения	Решение
$X < \text{НГД}$	Исправимый брак, возможно увеличение диаметра обработкой
$\text{НГД} \leq X \leq \text{ВГД}$	Годная деталь
$X > \text{ВГД}$	Неисправимый брак, деталь утилизируется

Средства для числовых измерений являются универсальными и позволяют контролировать разные изделия при условии попадания значения величины в их диапазон измерений. Данные средства выпускаются производителями с большим разнообразием характеристик, диапазонов измерений, точности и др., поэтому при планировании контроля достаточно лишь сделать выбор из представленных средств.

Достоинства метода числовых измерений:

- универсальность средств;
- возможность накапливать статистические данные для анализа процессов производства;
- доступность средств на рынке.

Недостатки метода числовых измерений:

- сравнительно высокая цена эксплуатации средств (поверка, калибровка, наладка);
- медленный и трудоемкий процесс измерений;
- требуется достаточно высокая квалификация оператора.

Средства для предельных измерений являются специальными, то есть предназначены для контроля определенного значения или небольшого диапазона в случае регулируемого предела. Данные средства в основном выпускаются производителями по предварительным заказам, но средства для контроля наиболее распространенных деталей и поверхностей (резьб, шлицев) могут быть доступны в продаже. При планировании контроля предельными средствами следует учесть время на их изготовление.

Таблица 2

План контроля предельным методом

Результат сравнения	Решение
Проходная часть не проходит в отверстие	Исправимый брак, возможно увеличение диаметра обработкой
Проходная часть проходит в отверстие, непроходная часть не проходит в отверстие	Годная деталь
Непроходная часть проходит в отверстие	Неисправимый брак, деталь утилизируется

Средства для предельных измерений позволяют осуществить комплексный контроль формы сложных поверхностей. Калибры для комплексного контроля представлены на рисунке 4. Например, при числовом контроле резьбы приходится измерять несколько величин (наружный диаметр, шаг и др.) и по каждой принимать решение о годности детали; при предельном контроле калибр либо свинчивается с деталью, либо не свинчивается.



Рис. 4. Калибры резьбовые и шлицевые

На базе предельных средств создаётся специальное оборудование для автоматизированного контроля и сортировки в поточно-массовом производстве.

Достоинства метода предельных измерений:

- быстрота контроля;
- нет высоких требований к квалификации оператора;
- возможность комплексного контроля;
- возможность автоматизации контроля.

Недостатки метода предельных измерений:

- специализация средств;
- дорогой и долгий процесс производства средств под заказ.
- не во всех случаях возможно применение предельных средств.

2.3. Выбор методов измерений.

При разработке технологии контрольных операций:

- подбирают числовые средства измерений для данной операции;
- выясняют возможность контроля с применением предельных средств;
- проводят технико-экономическое сравнение двух методов и выбирают наиболее эффективный.

При анализе эффективности методов учитывается множество факторов, причем основное влияние оказывает тип производства. В таблице 3 приведены общие рекомендации по выбору.

Таблица 3

Выбор метода измерений

Тип производства	Числовые измерения	Предельные измерения
Единичный	Подавляющее большинство операций	Очень редко, наиболее универсальные средства (эталон шероховатости)
Мелкосерийный	Большинство операций	Редко, для комплексного контроля (резьбы, шлицы и др.)
Серийный	Порядка 3/4-2/3 операций, для контроля со средней точностью, больших размеров и т.п.	Порядка 1/4-1/3 операций, для контроля резьб, шлицев, конусов, поверхностей высокой и особо высокой точности

Продолжение таблицы 3

Крупносерийный	Параллельный контроль небольшого количества операций для статистического регулирования техпроцессов	Подавляющее большинство операций
Массовый и поточно-массовый	Очень редко, для настройки техпроцессов	Все операции, большая доля автоматизированного контроля

3. ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

Для проведения лабораторной работы требуются:

– микрометр ГОСТ 6507-90 с инструкцией (рисунок 5);



Рис. 5. Микрометр

– калибр-скоба регулируемая ГОСТ 2216-84 с инструкцией (рисунок 6);

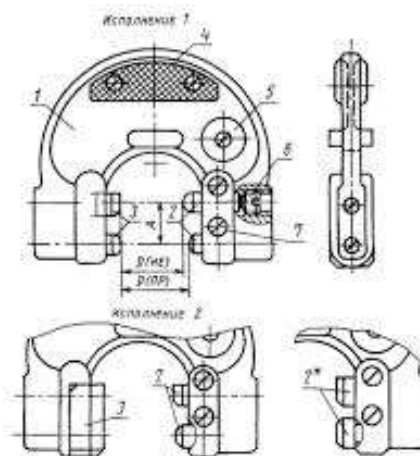


Рис. 6. Калибр-скоба

- набор плоскопараллельных концевых мер длины ГОСТ 9038-90 (рисунок 7);
- набор образцов для контроля с известным количеством годных и бракованных деталей;
- технологическая карта детали с указанием контролируемого размера, верхней и нижней границ допуска, пояснениями по контролю с помощью числовых и предельных средств.



Рис. 7. Набор концевых мер

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Провести работу в следующем порядке:

- согласно инструкции проверить и при необходимости откалибровать установку нуля микрометра;
- используя набор концевых мер, собрать эталоны для настройки калибра-скобы по значениям границ допуска;
- согласно инструкции, настроить непроходной и проходной раствор скобы;
- поочередно провести контроль всех образцов с помощью микрометра, причем измерять каждый образец 3-4 раза в разных направлениях и за результат принимать среднее арифметическое значение;
- в соответствии с результатами измерений сортировать образцы по контрольным группам, результат контроля записать;

- поочередно провести контроль всех образцов с помощью калибра-скобы, измерять каждый образец один раз;
- так же в соответствии с результатами измерений сортировать образцы по контрольным группам, результат контроля записать;
- сделать вывод о достоверности результатов контроля;
- сделать вывод о трудоемкости контроля обоими методами.

5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- наименование и цель лабораторной работы;
- краткое изложение основных теоретических положений;
- копию технологической карты детали;
- описание и результаты процесса контроля двумя методами;
- вывод о трудоемкости каждого метода и достоверности результатов контроля.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Для чего нужен контроль на производстве?
2. В чём заключается сущность операций контроля?
3. Расскажите о сущности числовых методов измерения.
4. Расскажите о достоинствах и недостатках числовых методов измерения.
5. Расскажите о сущности предельных методов измерения.
6. Расскажите о достоинствах и недостатках предельных методов измерения.
7. Какой метод наиболее предпочтителен в крупносерийном и массовом производстве и почему?

7. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Латышенко, К. П. Автоматизация измерений, контроля и испытаний: учебник / К. П. Латышенко. – Москва: Академия, 2012. – 320 с.

2. Сергеев, А. Г. Метрология. 3-е изд., пер. и доп. [электронный ресурс]. – Москва : Юрайт, 2018. – 322 с. – Режим доступа: <https://biblio-online.ru/book/metrologiya-413805>. – Загл. с экрана.

3. Сорочкин, Б. М. Автоматизация измерений и контроля размеров деталей / Б. М. Сорочкин. – Ленинград : Машиностроение, 1990. – 365 с.

4. Раннев, Г. Г. Методы и средства измерений: учебник / Г. Г. Раннев, А. П. Тарасенко. – Москва: Академия, 2003. – 336 с.

ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ №3 «МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ»

Составители: Баштанов В. Г., Драчев В. В.

1. КОНТРОЛЬ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

Любой материал, применяемый в машиностроении, обладает множеством физико-механических свойств (твёрдость, плотность, теплопроводность, электропроводность и т. д.). Для правильной работы изготовленной из него детали определенные свойства должны иметь установленные значения, поэтому их периодически подвергают контролю.

Все способы контроля свойств материала делятся на две группы – измерения и испытания. Измерения производятся непосредственно на детали с помощью соответствующих средств, приборов, инструментов. Эти способы относятся к неразрушающему контролю, так как не меняют состояния детали.

В процессе испытаний на объект оказывается некое физическое воздействие, уровень которого фиксируется. Объект испытаний в той или иной степени повреждается, поэтому их относят к разрушающему контролю. Для большинства видов испытаний нужно изготавливать образцы с определенными размерами и формой, это производится следующими методами:

- изготовление образцов из того же сырья одновременно с заготовками деталей;
- изготовление образцов и обработка их одновременно с деталями (образцы-свидетели);
- вырезка образцов из детали с необратимой порчей последней;
- испытание самой детали с небольшим повреждением её поверхности.

Ниже рассмотрены наиболее распространенные группы методов механических испытаний.

2. ИСПЫТАНИЯ СТАТИЧЕСКИМ НАГРУЖЕНИЕМ

Испытания статическим нагружением проводятся путем медленного растяжения образцов (ГОСТ 1497-84) круглого или прямоугольного сечения (рисунок 1). При разрушении образца в средней части испытание заканчивается.

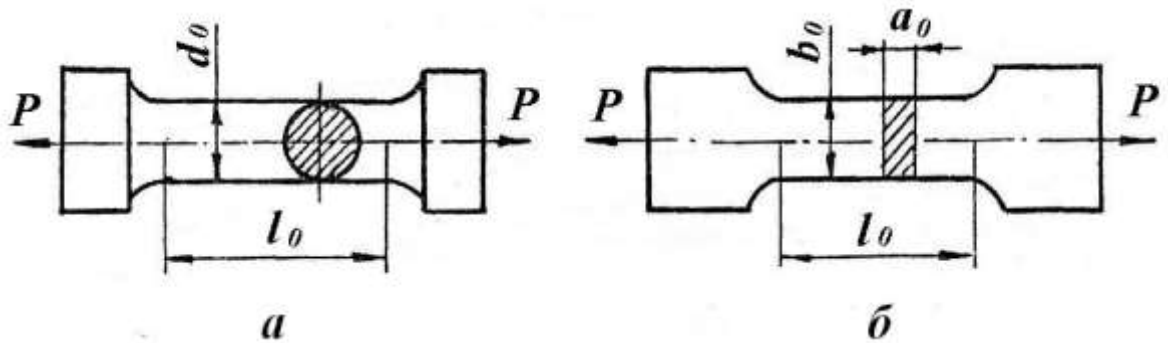


Рис. 1. Образцы для испытания на растяжение

Машины для испытания (рисунок 2) фиксируют силу нагружения образца и его удлинение, которые непрерывно записываются в виде диаграммы растяжения.



Рис. 2. Разрывная машина

Вязкие материалы, способные деформироваться под нагрузкой дают диаграмму, представленную на рисунке 3. По ней мож-

но определить совокупность характеристик прочности, определяющих способность материала выдерживать постоянную нагрузку без разрушения.

От начала деформации – точки О до точки А образец деформируется пропорционально приложенной нагрузке. Если нагрузку снять, то полученная образцом деформация исчезнет, и он примет первоначальные размеры.

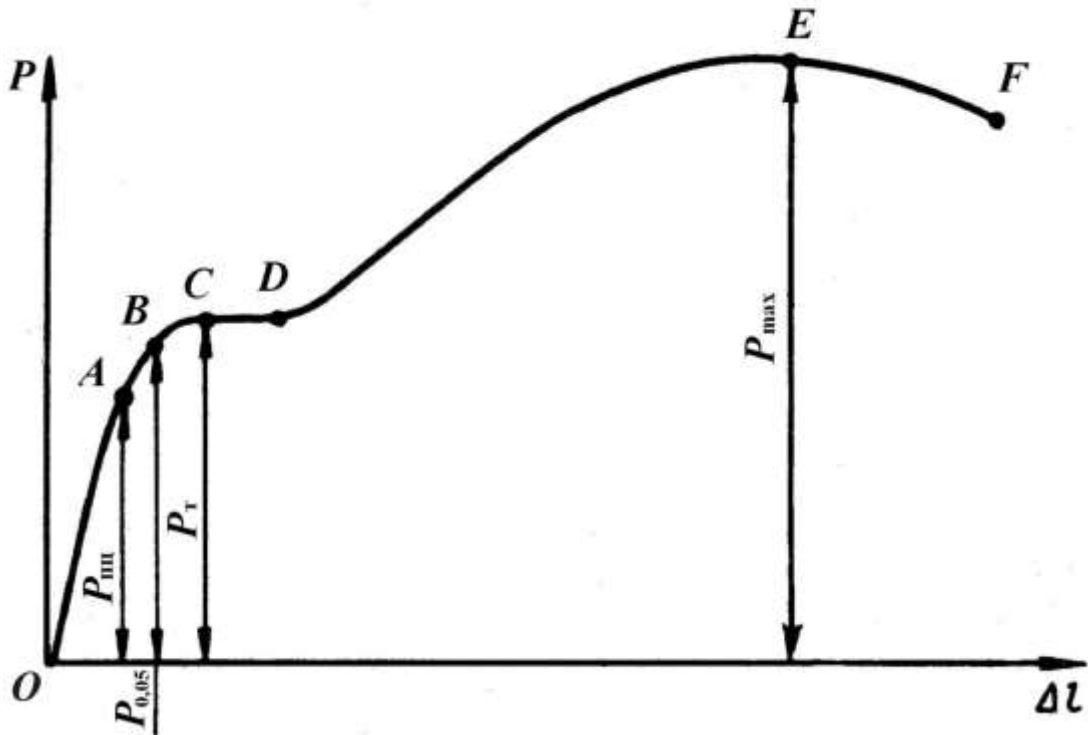


Рис. 3. Диаграмма растяжения

Точка А соответствует пределу пропорциональности:

$$\sigma_{\text{пц}} = \frac{P_{\text{пц}}}{F_0}, \text{ Па} \quad (1)$$

где $P_{\text{пц}}$ – предельная нагрузка, до которой сохраняется пропорциональность между нагрузкой и деформацией, Н;

F_0 – начальная площадь поперечного сечения образца, м^2 .

В точке В нагрузка, вызывает заметное остаточное удлинение образца – если снять нагрузку, длина образца будет больше начальной. Напряжение, при котором остаточное удлинение достигает 0,05% от начальной расчетной длины образца, называют пределом упругости:

$$\sigma_{0,05} = \frac{P_{0,05}}{F_0}, \text{ Па} \quad (2)$$

где $P_{0,05}$ – нагрузка, вызывающая остаточное удлинение 0,05%, Н.

Иногда значение остаточного удлинения принимают равным 0,005% или 0,02%, тогда предел упругости обозначают $\sigma_{0,005}$ или $\sigma_{0,02}$. При дальнейшем увеличении нагрузки на диаграмме образуется горизонтальный участок CD (площадка текучести), на котором незначительное увеличение нагрузки вызывает деформацию. Напряжение, соответствующее этому участку, называют пределом текучести:

$$\sigma_T = \frac{P_T}{F_0}, \text{ Па} \quad (3)$$

где P_T – нагрузка, соответствующая площадке текучести, Н.

Многие материалы не имеют площадки текучести, для них определяют условный предел текучести:

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0}, \text{ Па} \quad (4)$$

где $P_{0,2}$ – нагрузка, вызывающая остаточное удлинение 0,2%, Н.

Напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению образца в точке E, называется временным сопротивлением:

$$\sigma_B = \frac{P_{\max}}{F_0}, \quad (5)$$

где P_{\max} – наибольшая нагрузка, предшествующая разрушению образца, Н.

Для вязких материалов также определяют характеристики пластичности. Относительное удлинение:

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \cdot 100, \% \quad (6)$$

где l_0 – первоначальная длина образца, м;

l_k – длина образца после разрыва, м.

Относительное сужение:

$$\psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} \cdot 100, \% \quad (7)$$

где F_0 – первоначальная площадь поперечного сечения образца, м^2 ;

F_k – площадь поперечного сечения образца после разрыва, м^2 .

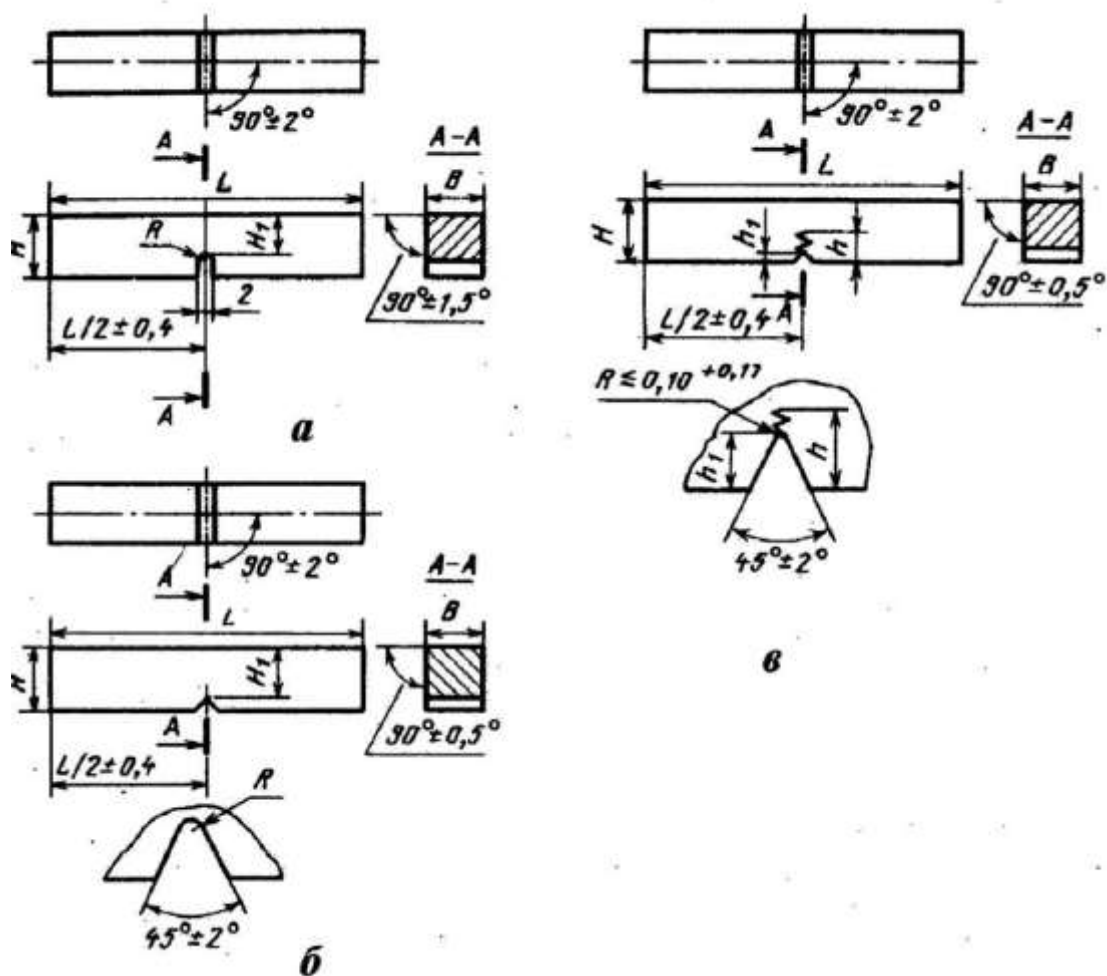
3. ИСПЫТАНИЯ УДАРНЫМ НАГРУЖЕНИЕМ

При работе деталей возможны удары, когда нагрузка возрастает за очень короткое время, что приводит к разрушению, хотя её уровень не превышает предела прочности материала. Поэтому были введены методы испытаний, при которых нагрузка прикладывается практически мгновенно; по виду деформации эти испытания делятся на ударный разрыв, ударное сжатие и ударный изгиб. Наиболее распространено испытание на ударный изгиб с определением ударной вязкости (ГОСТ 9454–78), при котором образец разрушается ударом маятникового копра (рисунок 4).

Образцы для испытаний (рисунок 5) имеют вид бруска с искусственным надрезом для концентрации напряжений. В зависимости от вида концентратора различают три типа: с радиусом надреза $R = 1$ мм (тип U), с $R = 0,25$ мм и углом 45° (тип V), с инициированной трещиной (тип Т). Выбор типа концентратора осуществляется в зависимости от требований к изделию: U – при обычных испытаниях металлов; V – для конструкций повышенной степени надежности; Т – для особо ответственных конструкций.



Рис. 4. Маятниковый копер

Рис. 5. Образцы для испытаний на ударную вязкость:
тип U (а), тип V (б), тип Т (в)

В процессе испытаний определяется параметр ударной вязкости (рисунок 6), который обозначается KCU, KCV, KST.

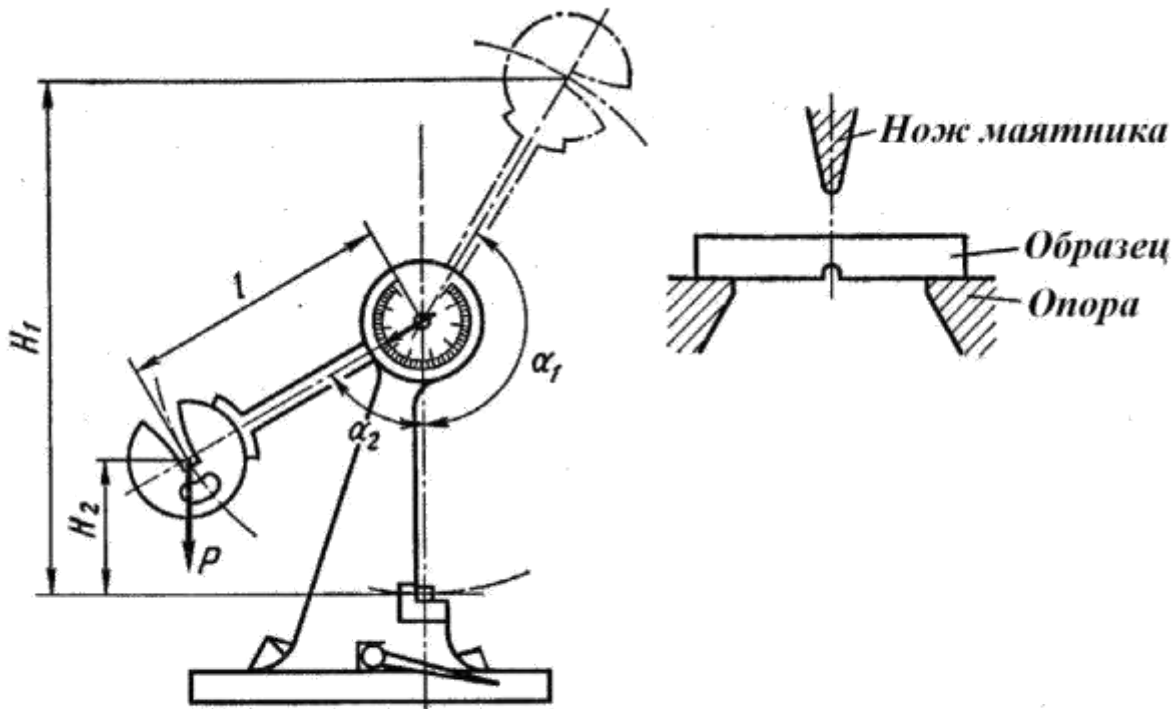


Рис. 6. Определение ударной вязкости

Ударная вязкость определяется как:

$$KC = \frac{K}{S_0}, \text{ Дж/м}^2 \quad (8)$$

где K – работа, затраченная на разрушение образца, Дж;

S_0 – начальная площадь поперечного сечения образца в месте надреза, м^2 .

Работа, затраченная на разрушение образца:

$$K = MgH_1 - MgH_2 = Mg(H_1 - H_2) = MgL (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2), \text{ Дж/м}^2 \quad (9)$$

где M – масса маятника, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с^2 ;

H_1 – высота подъема маятника до удара, м;

H_2 – высота подъема маятника после удара, м;

L – длина маятника, м;

α_1 – угол подъема маятника до удара, град;

α_2 – угол подъема маятника после удара, град.

4. ИСПЫТАНИЯ НА ВЫНОСЛИВОСТЬ

Длительное воздействие на материал нагрузок, переменных по величине и знаку может вызвать разрушение детали при напряжениях, меньших предела выносливости. Постепенное накопление повреждений под действием циклических нагрузок, приводящих к образованию трещин и разрушению, называют усталостью, а свойство сопротивляться усталости – выносливостью.

Испытания на усталость регламентированы ГОСТ 25.502–79: при растяжении-сжатии, изгибе, кручении; с использованием различных циклов напряжений. Чаще всего их проводят на вращающемся образце (гладком или с надрезом) с приложением изгибающей нагрузки по симметричному циклу (рисунок 7).

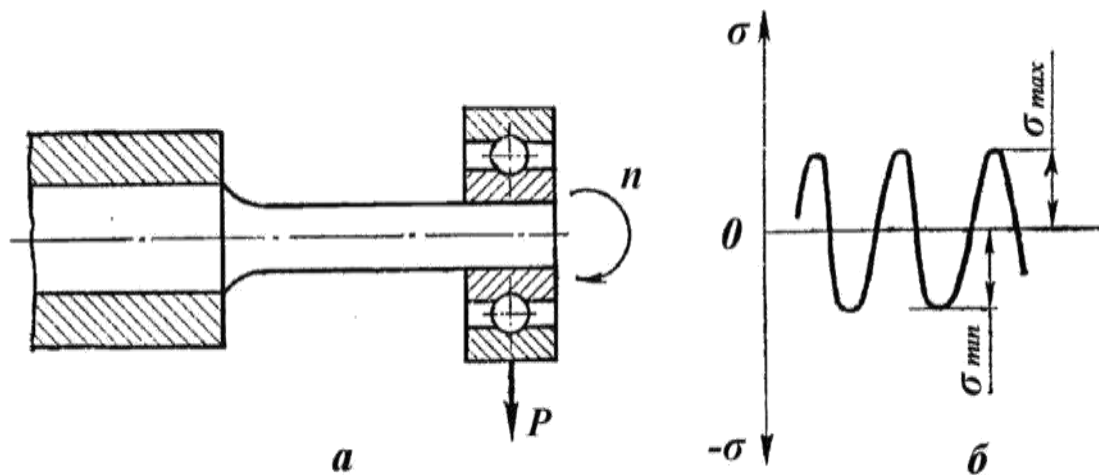


Рис. 7. Нагружение образца при испытании

Испытания проводятся на специальной машине (рисунок 8), которая автоматически фиксирует количество циклов нагружения в момент разрушения образца.

Для испытания используют от 15 и более образцов, каждый из которых испытывают на определенном уровне напряжений до

разрушения. По результатам испытания строят кривую усталости в координатах максимальное напряжение – число циклов до разрушения (рисунок 9) или в логарифмических координатах.



Рис. 8. Машина для испытаний на выносливость

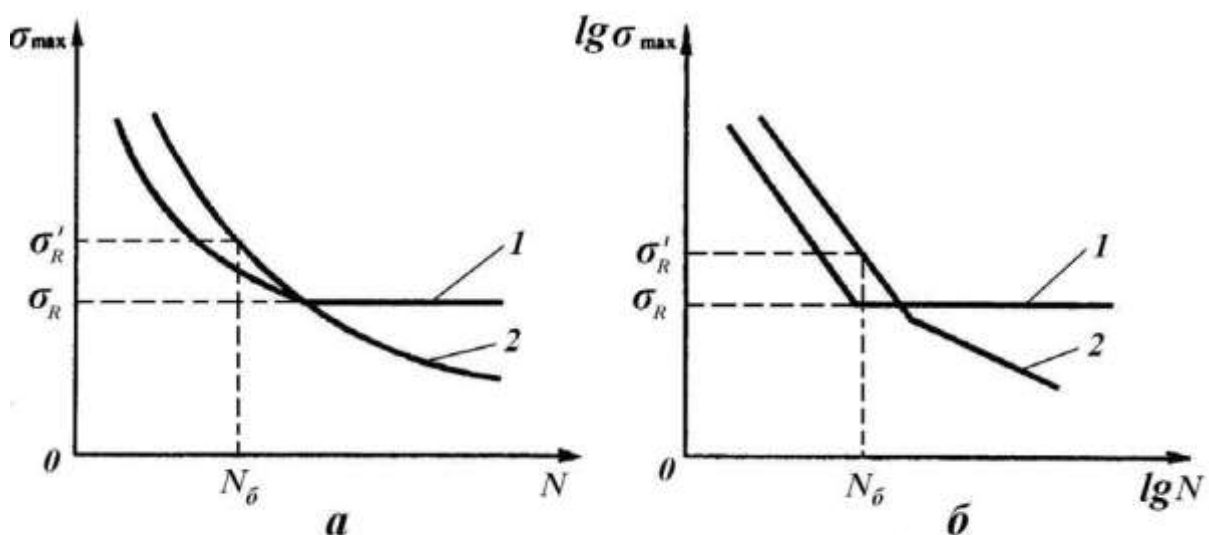


Рис. 9. Кривые усталости

Горизонтальный участок на кривой усталости, соответствующий максимальному напряжению, не вызывающему разрушения при бесконечно большом числе циклов нагружения, соответствует пределу выносливости. Предел выносливости для произвольного цикла нагружения обозначается σ_R , для симметричного цикла σ_{-1} .

Некоторые материалы горизонтального участка на кривой усталости, в этом случае определяют ограниченный предел вы-

носливости – наибольшее напряжение, которое выдерживает материал в течение заданного (базового) числа циклов нагружения N_6 .

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МАТЕРИАЛА

5.1. Общие сведения

Твердостью называют свойство материала оказывать сопротивление проникновению в его поверхность другого, более твердого тела. Измерение твердости производится путем вдавливания в поверхность материала индентора (наконечника) под определенным значением нагрузки. Индентор имеет определенную форму (шар, конус, пирамида) и размеры. Мерой твердости является глубина его внедрения в материал, которую можно найти, измерив линейные размеры отпечатка индентора. Общий вид твердомера и схема измерения отпечатка указаны на рисунке 10. Современные твердомеры часто напрямую измеряют глубину внедрения и выдают значение твердости в готовом виде на дисплей.

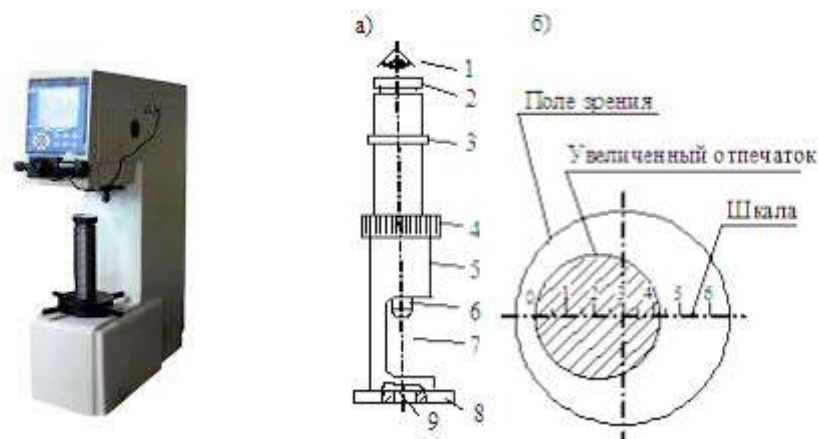


Рис. 10. Измерение твердости

Существуют различные методы измерения твердости: по Бринеллю (ГОСТ 9012-59), по Роквеллу (ГОСТ 9013-59), по Виккерсу (ГОСТ 2999-75), измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников (ГОСТ 9450-76), методом ударного отпечатка (ГОСТ 18661-73), методом упругого отскока бойка (ГОСТ 23273-78), измерение пластической твердости (ГОСТ

18835-73) и др. Наибольшее распространение нашли первые три метода измерения твердости.

Конструкции твердомеров требуют изготовления образца небольшой высоты с подготовленной (шлифованной или полированной) поверхностью. В некоторых случаях можно измерять твердость непосредственно на небольших деталях.

Особым видом являются измерения микро- и нанотвердости у объектов с размерами 10^{-5} – 10^{-8} мм. Приборы для таких целей оснащены мощным микроскопом для измерения размера отпечатка. Этим методом можно измерять твердость отдельных составляющих структуры материала, или очень тонких поверхностных слоев.

5.2. Измерение твердости по Бринеллю

При измерении твердости методом Бринелля шарик вдавливается в испытуемый образец под действием нагрузки, приложенной в течение определенного времени (от 10 до 15 с для черных металлов и от 10 до 180 секунд для цветных).

Все методы измерения твердости имеют массу разновидностей, определяемых видом и размерами индентора, нагрузкой и областью применения. Например для метода Бринелля:

- материал шарика – закаленная сталь или твердый сплав;
- диаметры применяемых шариков 1,0; 2,0; 2,5; 5 и 10 мм;
- нагрузка выбирается в пределах от 9,8 Н (1 кгс) до 29420 Н (3000 кгс);
- условия применения приведены в таблице 1.

Число твердости по Бринеллю определяется путем деления нагрузки, при которой происходило вдавливание, на площадь поверхности отпечатка, оставшегося после снятия нагрузки:

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \quad (9)$$

где P – нагрузка, кгс;

F – площадь поверхности отпечатка, мм²;

D – диаметр шарика, мм;

d – диаметр отпечатка, мм.

Поверхность образца для испытания должна быть свободна от окалины и других посторонних веществ. Толщина образца – не менее восьмикратной глубины отпечатка. Расстояние от центра отпечатка до края образца должно быть не менее $2,5d$, а между центрами двух соседних отпечатков – не менее $4d$ (d – диаметр отпечатка, мм). Для мягких материалов (НВ менее 35) соответственно $3d$ и $6d$.

Таблица 1

Материал	Интервал твердости <i>HV</i>	Диаметр шарика <i>D</i> , мм	Нагрузка <i>P</i> , Н (кгс)
Сталь, чугун и др. высокопрочные сплавы	96–450	1,0	294,2 (30)
		2,0	1177 (120)
		2,5	1839 (187,5)
		5,0	7355 (750)
		10,0	29420 (3000)
Титан и его сплавы	50–220	10,0	14710 (1500)
Медь, алюминий и их сплавы	32–200	1,0	98,07 (10)
		2,0	392,3 (40)
		2,5	612,9 (62,5)
		5,0	2452 (250)
		10,0	9807 (1000)
Магний и его сплавы	16–100	1,0	49,03 (5)
		2,0	196,1 (20)
		2,5	306,0 (31,2)
		5,0	1226 (125)
		10,0	4903 (500)
Подшипниковые сплавы	8–50	1,0	24,52 (2,5)
		2,0	98,07 (10)
		2,5	153,0 (15,6)
		5,0	612,9 (62,5)
		10,0	2452 (250)
Свинец, олово и другие мягкие металлы	3,2–20	1,0	9,807 (1)
		2,0	39,23 (4)
		2,5	60,80 (6,2)
		5,0	245,2 (25)
		10,0	980,7 (100)

При измерении твердости шариком диаметром 10 мм с нагрузкой 29430 Н (3000 кгс) и выдержкой 10–15 с число твердости по Бринеллю обозначается цифрами, характеризующими ве-

личину твердости, и буквами НВ при применении стального шарика или НВW при применении шарика из твердого сплава. При других условиях измерения обозначение НВ (НВW) дополняется индексом, указывающим условия измерения в следующем порядке: диаметр шарика, нагрузка и продолжительность выдержки. Например: 200 НВ 5/250/30 – число твердости по Бринеллю 200, испытание проводилось шариком диаметром 5 мм при нагрузке 2453 Н (250 кгс), приложенной в течение 30 с.

Метод Бринелля используется для испытания материалов низкой и средней твердости – цветных металлов и их сплавов, незакаленных сталей. Метод применим для определения твердости неоднородных по структуре сплавов (чугуны, подшипниковые сплавы).

Достоинства метода:

- высокая точность и хорошая воспроизводимость результатов измерения.
- существование зависимости между числом твердости по Бринеллю и временным сопротивлением при растяжении σ_v .

Недостатки метода:

- при использовании стального шарика невозможно испытать материалы твердостью более 450 НВ (закаленные стали, белые чугуны);
- невозможность испытания твердости тонкого поверхностного слоя (менее 1 мм), а также изделий малых размеров;
- после испытания остаются большие и глубокие отпечатки.

5.3 Измерение твердости по Роквеллу

При измерении твердости методом Роквелла в испытуемый образец или изделие вдавливаются алмазный конус с углом при вершине 120° или стальной закаленный шарик диаметром 1,588 и 3,175 мм под действием двух последовательно прикладываемых нагрузок: предварительной P_0 и основной P_1 . Общая нагрузка $P = P_0 + P_1$.

Твердость определяют по глубине внедрения наконечника в испытуемый образец, измеренной после снятия основной нагрузки при сохранении предварительной. За единицу твердости по Роквеллу принята условная величина, соответствующая осевому

перемещению наконечника на 0,002 мм. Результаты испытания читаются прямо по шкале прибора, без дополнительных измерений.

В зависимости от материала испытываемого образца твердость измеряют по девяти шкалам: А, С, D (используют алмазный конус), В, F, G (стальной шарик диаметром 1,588 мм), Е, Н, К (стальной шарик диаметром 3,175 мм). Чаще всего используют шкалы А, В и С.

Поверхность образца для испытания должна быть хорошо подготовлена, минимальная толщина образца должна быть не меньше десятикратной глубины внедрения наконечника после снятия основной нагрузки. Расстояние между центрами двух соседних отпечатков должно быть не менее 2 мм, от центра отпечатка до края образца – не менее 1 мм.

Твердость по Роквеллу обозначают цифрами, характеризующими величину твердости, и буквами HR с указанием шкалы твердости. Например: 50 HRC – твердость по Роквеллу 50, определенная по шкале С.

Достоинства метода:

- возможность испытания как мягких, так и твердых материалов;
- быстрота измерения;
- сохранение качественной поверхности после испытания, так как отпечаток имеет небольшие размеры.

Недостатки метода:

- безразмерность и условность чисел твердости, что затрудняет их перевод в другие величины твердости или прочности при растяжении;
- менее удовлетворительная, чем у метода Бринелля, повторяемость результатов измерений;
- невозможность измерения твердости очень тонких слоев металла (менее 0,3 мм);
- метод не рекомендуют применять для определения твердости неоднородных по структуре сплавов (например чугуна).

5.4 Измерение твердости по Виккерсу

Измерение твердости методом Виккерса основано на вдавливании алмазной четырехгранной пирамиды с углом при вер-

шине 136° в образец (изделие) под действием нагрузки, приложенной в течение определенного времени (обычно 10–15 с). Нагрузка выбирается в пределах от 9,8 Н (1 кгс) до 980,7 (100 кгс).

Твердость по Виккерсу вычисляют путем деления нагрузки на площадь поверхности отпечатка, оставшегося на образце:

$$HV = \frac{P}{F} = \frac{2P \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1,854 \frac{P}{d^2} \quad (10)$$

где P – нагрузка, кгс;

F – площадь поверхности отпечатка, мм^2 ;

α – угол между противоположными гранями пирамиды при вершине, равный 136° ;

d – среднее арифметическое значение длин обеих диагоналей отпечатка после снятия нагрузки, мм.

Поверхность образца должна быть тщательно отшлифована (R_a не более 0,16 мкм), на ней не должно быть окисных пленок и других посторонних веществ. Минимальная толщина стальных образцов должна быть больше диагонали отпечатка в 1,2 раза, а образцов из цветных металлов – в 1,5 раза. Расстояние между центром отпечатка и краем образца или краем соседнего отпечатка – не менее 2,5 длины диагонали отпечатка.

Приборы для измерения твердости по Виккерсу имеют встроенный микроскоп или проекционную оптическую систему, с помощью которых измеряют длины диагоналей отпечатка.

Твердость по Виккерсу при испытании под нагрузкой 294,2 Н (30 кгс) и временем выдержки под нагрузкой 10–15 с обозначается цифрами, характеризующими величину твердости, и буквами HV. При других условиях испытания после букв HV указывается нагрузка и время выдержки. Например: 220 HV 10/30 – число твердости 220, полученное при нагрузке 98,1 Н (10 кгс) и времени выдержки 30 с.

Достоинства метода:

– возможность измерения твердости как мягких, так и сверхтвердых материалов с высокой точностью;

- возможность определения твердости тонких (до 0,3 мм) деталей и очень тонких (до 0,03 мм) поверхностных слоев металла;

- очень малые размеры отпечатка.

Недостатки метода:

- большая длительность и трудоемкость процесса измерения твердости;

- очень высокие требования к качеству поверхности образца;

- сравнительная сложность и дороговизна приборов для определения твердости.

6. ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

Для проведения лабораторной работы требуются:

- твердомер Бринелля типа ТШ-2М с инструкцией и измерительной лупой (рисунок 11);



Рис. 11. Твердомер ТШ-2М

- микротвердомер типа ПМТ-3М с инструкцией (рисунок 12);

- набор образцов №1 из нормализованной углеродистой стали или серого чугуна;
- набор образцов №2 из углеродистой стали с цементованным и закаленным поверхностным слоем.
- контрольные карты изделий с описанием образцов и контрольными уровнями твердости.

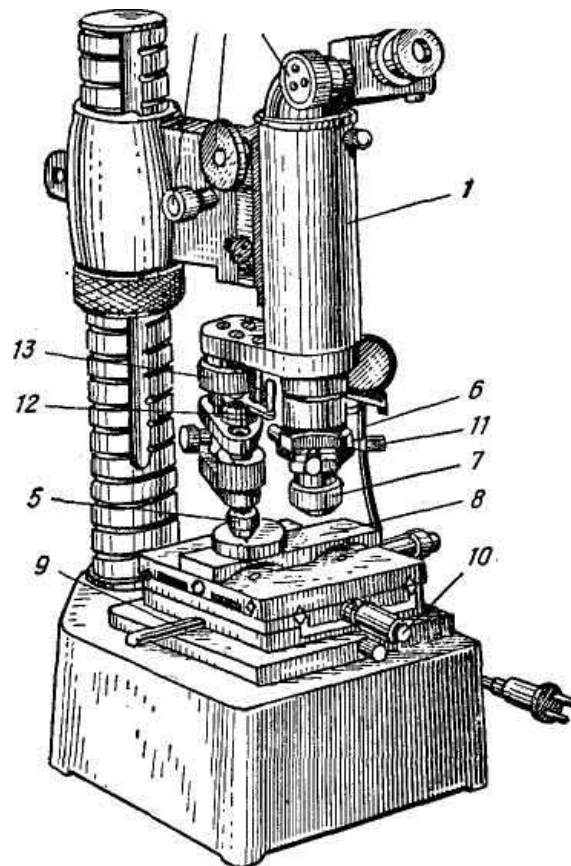


Рис. 12. Микротвердомер ПМТ-3М

7. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Измерение твердости методом Бринелля:

- согласно инструкции настроить твердомер, выбрав шарик и установив нагрузку;
- взять образец №1, установить на столик прибора;
- согласно инструкции провести 4-5 вдавливания в разных местах образца;
- при помощи лупы измерить диаметры отпечатков, причем за диаметр d брать среднее арифметическое при измерении отпечатка в двух перпендикулярных направлениях;

- по таблице из приложения найти числа твердости;
- за окончательный результат принимается среднее арифметическое число по всем отпечаткам, причем сильно отличающиеся от прочих числа могут быть отброшены как ошибочные;
- на основании контрольной карты сделать вывод о годности изделия.

Измерение микротвердости:

- согласно инструкции настроить микротвердомер, установив грузы;
- взять образец №2, установить на столик прибора;
- наблюдая в окуляр и перемещая столик с помощью двух винтов выбрать на образце участок измерения твердости; точку измерения размещаем в вершине угла неподвижной сетки окуляра;
- повернуть с помощью ручки столик 9 на 180° (от одного упора до другого) для подведения выбранного участка образца под алмазную пирамиду;
- медленным (в течение 10-15 с) поворотом ручки 13 приблизительно на 180° опускают шток с алмазной пирамидой так, чтобы алмаз коснулся образца;
- выдержать образец под нагрузкой 5-10 с, после чего, поворачивая ручку 13 в исходное положение, поднять шток с алмазом;
- повернуть столик 8 на 180° и вернуть образец в исходное положение под объектив микроскопа;
- вращением винтов 11 подвести отпечаток к угольнику неподвижной сетки, чтобы вершина угольника совпала с левым углом отпечатка, а пунктирные линии угольника совпали с гранями левой части отпечатка (рисунок 13);



Рис. 13. Измерение отпечатка

- вращением микрометрического барабана окуляра подвести вершину угольника подвижной сетки к противоположному углу отпечатка, считать величину диагонали d по шкале микрометрического барабанчика;
- повернуть окуляр на 90° , определить аналогично также длину второй диагонали и вычислить среднее арифметическое двух длин;
- рассчитать число твердости по формуле (10);
- повторить измерения микротвердости для другого участка 4-5 раз;
- за окончательный результат принимается среднее арифметическое число твердости по всем отпечаткам, причем сильно отличающиеся от прочих числа могут быть отброшены как ошибочные;
- на основании контрольной карты сделать вывод о годности изделия.

8. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- наименование и цель лабораторной работы;
- краткое изложение основных теоретических положений;
- описание результатов контроля твердости для двух групп образцов;
- выводы о годности деталей по результатам контроля;
- копии контрольных карт образцов.

9. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем особенности процессов испытаний при контроле механических свойств материалов?
2. Расскажите о свойствах материала, определяемых при испытаниях на статическое нагружение.
3. Каким способом определяется ударная вязкость материала?
4. В чем заключается проблема усталости материала?
5. Как проводятся испытания на выносливость материала?
6. Что такое твердость материала?

7. Расскажите об особенностях измерения твердости методом Бринелля.

8. Расскажите об особенностях измерения твердости методом Роквелла.

9. Расскажите об особенностях измерения твердости методом Виккерса.

10. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лахтин, Ю. М. Материаловедение / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – Москва: Альянс, 2009. – 528 с.

2. Материаловедение: учебник для студентов вузов / под ред. Б. Н. Арзамасова, Г. Г. Мухина. – Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 648 с.

3. Гуляев, А. П. Металловедение: учебник для вузов / А. П. Гуляев, А. А. Гуляев. – Москва: Альянс, 2011. – 644 с.

4. Материаловедение и технология конструкционных материалов : учебник для студентов вузов / под ред. В. Б. Арзамасова, А. А. Черепяхина. – Москва: Академия, 2007. – 448 с.

Приложение

Таблица 2. Числа твердости по Бринеллю

Диаметр отпечатка, мм	Число твердости НВ	Диаметр отпечатка, мм	Число твердости НВ	Диаметр отпечатка, мм	Число твердости НВ
2,30	712	3,75	262	5,20	131
2,35	682	3,80	255	5,25	128
2,40	653	3,85	248	5,30	126
2,45	627	3,90	241	5,35	123
2,50	601	3,95	235	5,40	121
2,55	578	4,00	229	5,45	118
2,60	555	4,05	223	5,50	116
2,65	534	4,10	217	5,55	114
2,70	514	4,15	212	5,60	111
2,75	495	4,20	207	5,65	109
2,80	477	4,25	201	5,70	107
2,85	461	4,30	197	5,75	105
2,90	444	4,35	192	5,80	103
2,95	429	4,40	187	5,85	101
3,00	415	4,45	183	5,90	99,2
3,05	401	4,50	179	5,95	97,3
3,10	388	4,55	174	6,00	95,5
3,15	375	4,60	170		
3,20	363	4,65	167		
3,25	352	4,70	163		
3,30	341	4,75	159		
3,35	331	4,80	156		
3,40	321	4,85	152		
3,45	311	4,90	149		
3,50	302	4,95	146		
3,55	293	5,00	143		
3,60	285	5,05	140		
3,35	277	5,10	137		
3,70	269	5,15	134		

Примечания:

1. Числа твердости по Бринеллю получены при нагрузке 29430 Н (3000 кгс) и шарике диаметром 10 мм.

ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ №4 «МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ СТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛОВ»

Составители: Баштанов В. Г., Ляцнина С. В.

1. МЕТАЛЛОГРАФИЯ В ПРОЦЕССАХ КОНТРОЛЯ

Большинство материалов, используемых в машиностроении на микроуровне имеют неоднородное строение и состоят из зёрен различного фазового состава и ориентации кристаллической решётки. Структура материала (состав фаз, их относительное содержание, размер зерна и т. п.) оказывает значительное влияние на его физико-механические свойства.

При изготовлении детали различные операции технологического процесса могут влиять на структуру материала. Влияние может быть как полезным и контролируемым, так и вредным побочным процессом. Например, при закалке стали образование мартенсита является нужным явлением, а поверхностное выгорание углерода – вредным.

Поэтому в производстве предусматривается контроль структуры материала для заготовок и деталей на определённых этапах технологического процесса. Множество различных способов структурного анализа имеют общие принципы осуществления и объединяются в группу методов металлографии.

Общий принцип металлографии – выявление структуры материала на специальном изготовленном и обработанном образце. Затем структура подвергается визуальной и количественной оценке методами микроскопии.

Объект испытаний при металлографических исследованиях в той или иной степени повреждается, поэтому их относят к разрушающему контролю. Образцы изготавливают с определёнными размерами и формой, это производится следующими методами:

- изготовление образцов из того же сырья одновременно с заготовками деталей;
- изготовление образцов и обработка их одновременно с деталями (образцы-свидетели);

- вырезка образцов из детали с необратимой порчей последней;
- разрушение для исследования поверхности излома с необратимой порчей детали.

2. МЕТОДЫ МЕТАЛЛОГРАФИИ

2.1. Подготовка образцов для анализа.

Все методы металлографии можно разделить на две группы: методы оптической микроскопии и специальные методы (электронная микроскопия, рентгеновская дифрактометрия и др.).

Подготовка образцов для оптической микроскопии включает в себя этапы:

- вырезка образца из тела заготовки (детали), причем для разных видов контроля стандартами устанавливаются определённые схемы вырезки (рисунок 1);

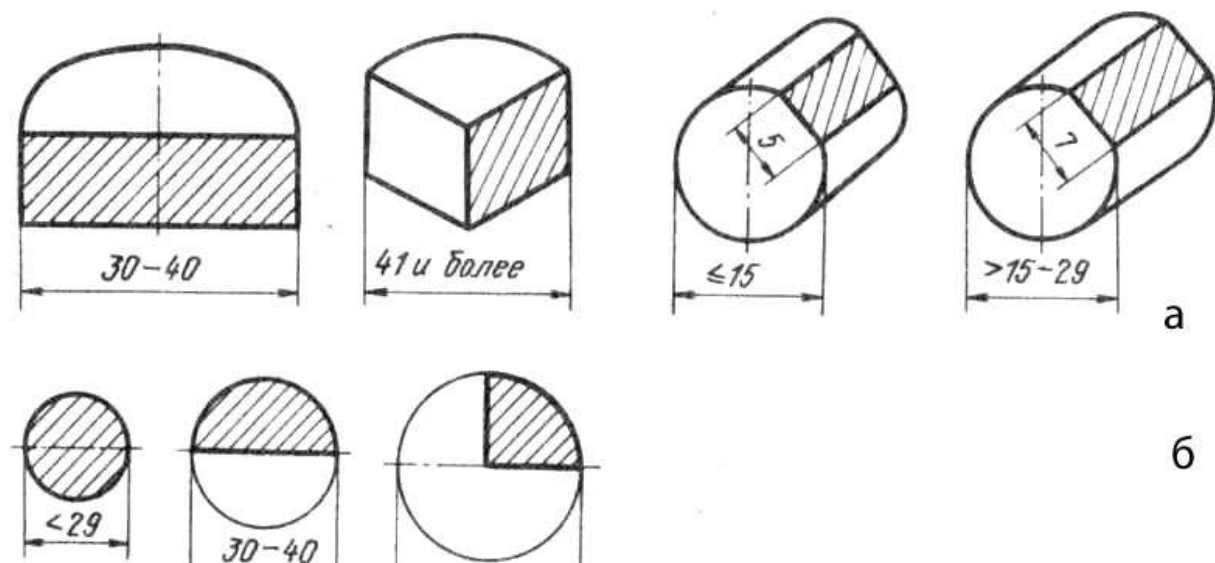


Рис. 1. Схема вырезки образцов при контроле обезуглероженного слоя

- обработка поверхности образца последовательным шлифованием в 2-3 этапа с уменьшением зернистости абразива для снятия слоя искаженной структуры после вырезки, причем каждый следующий этап устраняет повреждения структуры (риски) от предыдущего (рисунок 2);

- полирование образца абразивными микропорошками на войлочном круге для получения зеркальной поверхности (рисунок 3);
- травление образца реактивом, подбираемым в зависимости от его материала, за счет чего различные элементы структуры по-разному отражают падающий свет (рисунок 4);



Рис. 2. Шлифование образца



Рис. 3. Полированный образец

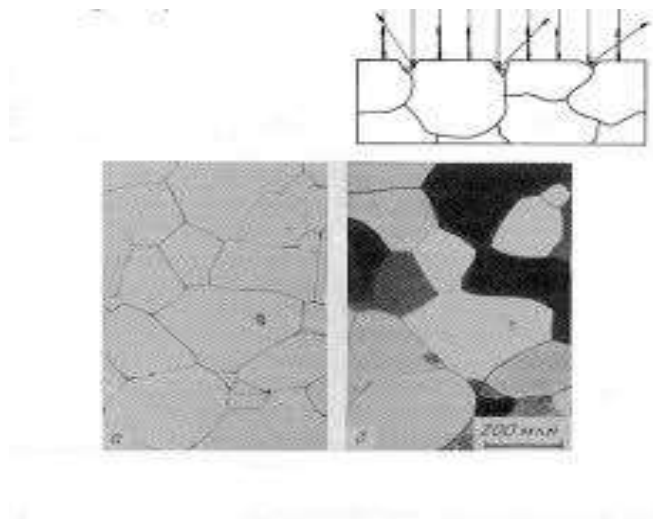


Рис. 4. Выявление структуры травлением

– образцы небольшого размера часто устанавливают в обойму с заливкой быстротвердеющим пластиком для удобства работы.

Образцы для специальных методов готовятся различными способами, например, для электронной микроскопии образец имеет вид очень тонкой фольги. Как правило, подготовка таких образцов очень трудоемкий процесс.

2.2. Виды структур и оборудование.

Различают три уровня структур в зависимости от величины контролируемых объектов.

Макроструктура изучается по виду образцов (макрошлифов) невооруженным глазом или методом световой микроскопии. С помощью данного вида анализа выявляются дефекты в материале типа трещин, пор, посторонних включений, грубая неоднородность (ликвация в отливках) и т. п. В качестве оборудования применяется любой тип микроскопа с увеличением не более $30\times$. Размер контролируемых объектов $\sim 10^{-2}$ мм.

Микроструктура металлов изучается по виду образцов (микрошлифов) методом световой микроскопии. Данным методом можно выявлять фазовый состав материала, размер зерна, объемное содержание отдельных фаз и другие характеристики, а также выявлять микродефекты. В качестве оборудования применяются

металлографические микроскопы (рисунок 5), которые позволяют:

- рассматривать непрозрачные тела в отраженном свете с регулируемым увеличением до $1500\times$;
- перемещать образец в двух направлениях и измерять величину перемещений;
- менять режим освещенности образца;
- производить фотофиксацию наблюдаемой картины.



Рис. 5. Микроскоп МИМ-7

Микроскопы имеют набор сменных окуляров и объективов, что позволяет регулировать увеличение (табл. 1).

Таблица 1

Увеличение микроскопов МИМ

МИМ-6				МИМ-7				
Объективы	Окуляры для визуального наблюдения			Объективы	Окуляры для визуального наблюдения			
	$7\times$	$10\times$	$15\times$		$7\times$	$10\times$	$15\times$	$20\times$
$9\times 0,20$	63	90	135	$23,3\times 0,17$	60	90	130	170
$21\times 0,40$	147	210	315	$13,9\times 0,30$	100	140	200	300
$40\times 0,65$	280	400	600	$8,3\times 0,37$	170	240	360	500
				$6,2\times 0,65$	250	320	500	650

Для определения количественных параметров используются аналитические структурные анализаторы типа EPIQUANT (рису-

нок 6). Такой прибор является микроскопом с возможностью оцифровки изображения и его обработки для расчета параметров посредством встроенной ЭВМ. Принцип обработки заключается в наложении на поверхность образца световой линии произвольной ориентации. Получаемые от различных составляющих структуры световые потоки вдоль охваченной линии измерения дают аналоговые сигналы разной высоты. Высота сигнала является мерой интенсивности света, а продолжительность сигнала – мерой длины пересечения измеряемого объекта. Полученные результаты пересчитываются в данные, с помощью которых можно охарактеризовать количество, размер, вес, и распределение составляющих структуры.

Размер контролируемых объектов $\sim 10^{-5}$ мм.

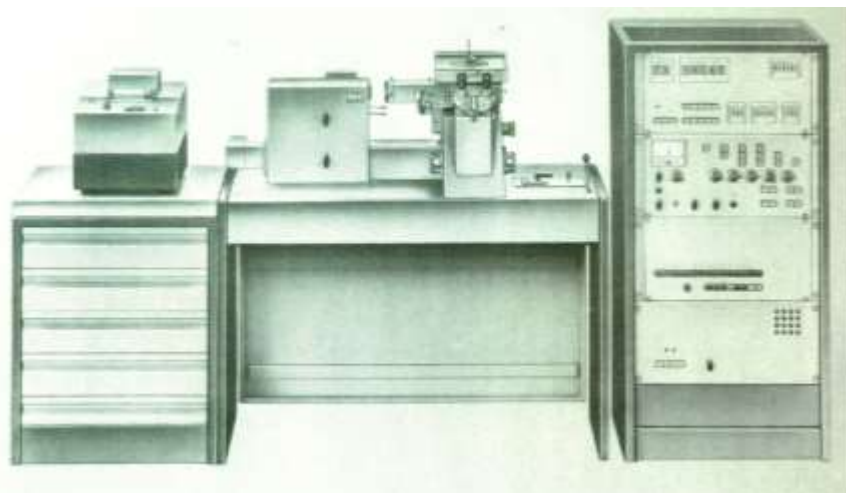


Рис. 6. Анализаторы типа EPIQUANT

Уровень наноструктуры позволяет исследовать объекты размером порядка $\sim 10^{-8}$ мм и предназначен для определения параметров кристаллической решетки фаз, структурного состава тонкодисперсных составляющих, внутренних напряжений в объеме зерна и т. п. Для исследования нанообъектов применяют все специальные методы металлографии, основанные на электронной микроскопии, спектрометрии, рентгеновской микроскопии. Для каждого метода имеется свое оборудование, например вид растрового электронного микроскопа представлен на рисунке 7.



Рис. 7. Электронный микроскоп Carl Zeiss EVO50

2.3. Методы оценки структур.

По изображениям, полученным оптической микроскопией проводится структурный анализ следующими способами: оценочным, полуколичественным (балльным) или количественным.

Оценочный способ, когда оператор выявляет изображения дефектов или зёрен различных фаз и может оценить их количество, взаимное расположение и ориентацию. Например, на рисунке 8 представлен фазовый состав легированных конструкционных сталей с указанием преобладающих фаз.

Полуколичественный (балльный) способ заключается в сравнении оператором изображения с эталонными и при достаточной степени совпадения присвоении структуре определенного балла. Данный способ используется при контроле отдельных стандартизованных параметров структуры материала, причем эталонные изображения приведены в ГОСТах с указанием всех особенностей исследования (увеличение микроскопа, способ травления и др.).

На рисунке 9 представлен вид эталонов на контроль структуры стали после отжига, а на рисунке 10 – на контроль величины аустенитного зерна.

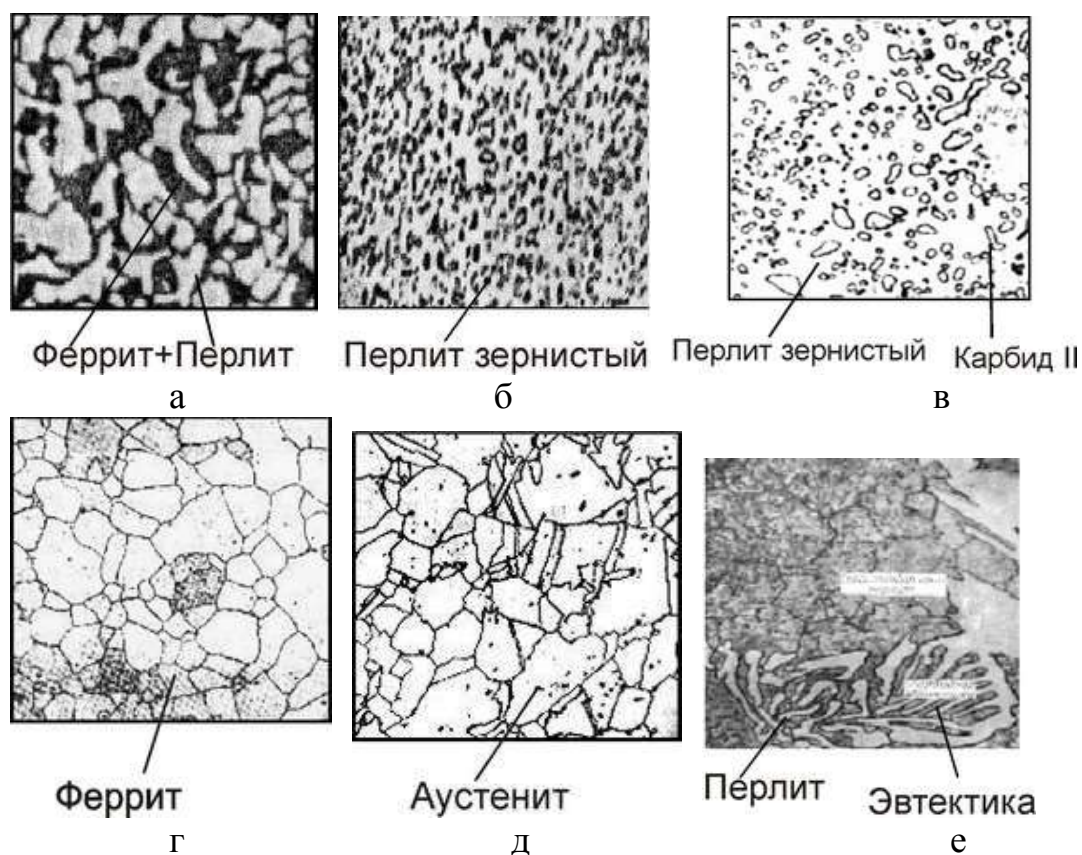


Рис. 8. Структура сталей в равновесном состоянии: а, б, в – перлитный класс; г – ферритный класс; д – аустенитный класс; е – карбидный класс (ледебуритный)

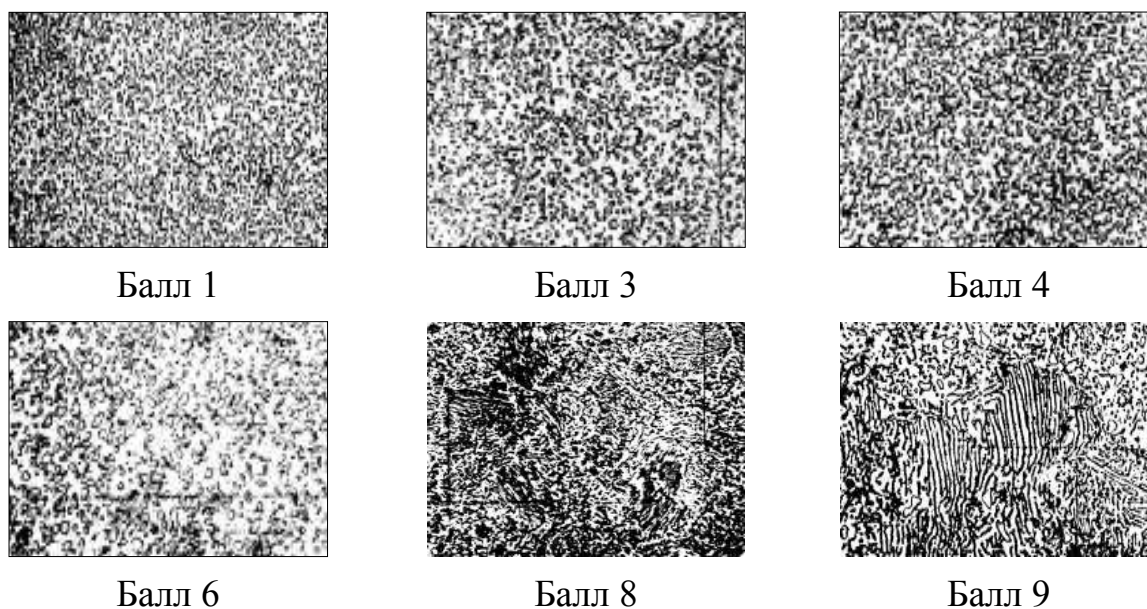


Рис. 9. Микроструктура отожженной стали (ГОСТ 801), 500[×]

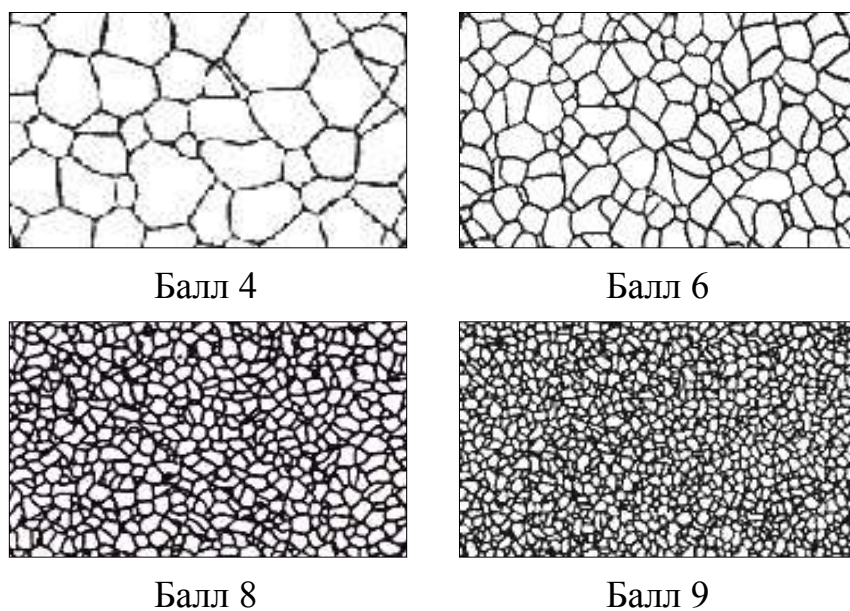


Рис. 10. Величина аустенитного зерна (ГОСТ 5639), $100\times$

Количественным методом можно определить относительное объёмное содержание той или иной фазы. Существует две разновидности данного метода: линейный (Розиваля) и точечный (Глаголева); их схемы указаны на рисунке 11.

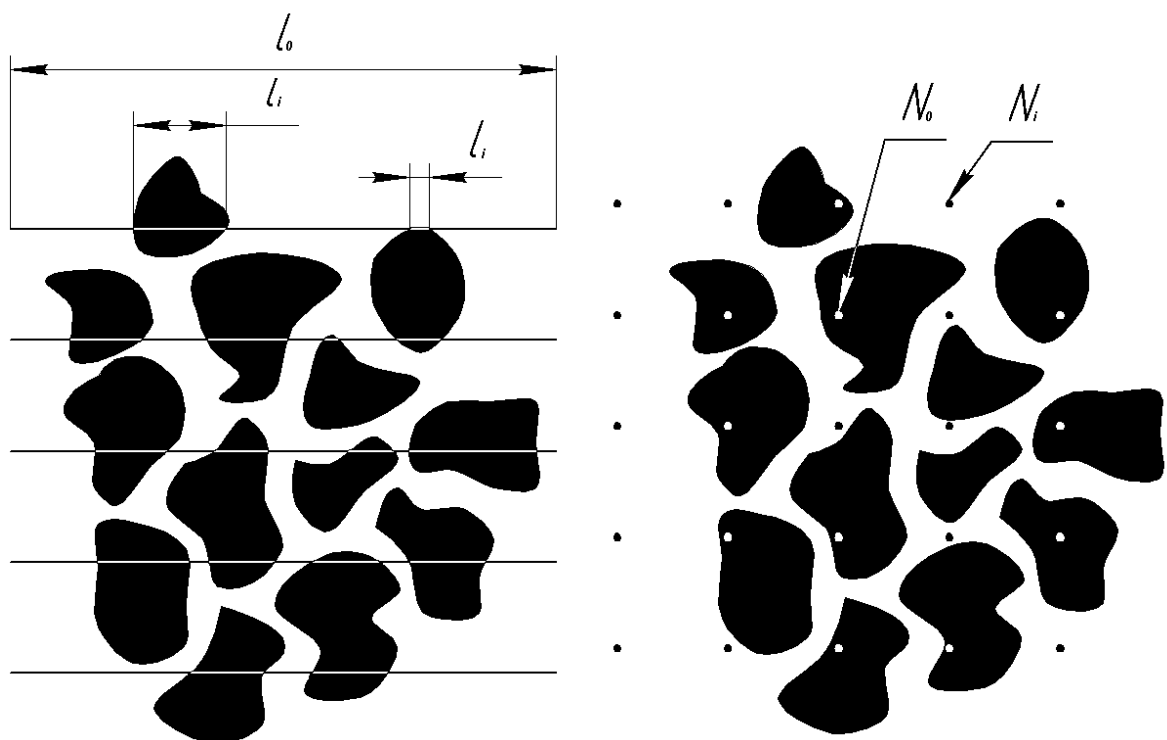


Рис. 11. Схемы количественных методов

Линейный метод основан на доказанном соотношении, в соответствии с которым объёмная доля структурной составляющей (фазы) в материале пропорциональна доле длины секущей линии, проходящей через эту составляющую. Данный метод сводится к измерению и суммированию длин отрезков прямой линии, пересекающих изображения нужной фазы. Длину отрезков можно измерять на изображении в поле зрения микроскопа или микрофотографиях различными способами. Объём структурной составляющей рассчитывается как:

$$V = \frac{l_1}{l_0} \cdot 100, \% \quad (1)$$

где l_1 – суммарная длина секущих, приходящихся на структуру;
 l_0 – общая длина секущих.

Точечный метод основан на доказанном соотношении, в соответствии с которым объёмная доля структурной составляющей (фазы) в материале сплава пропорциональна доле случайно попавших в нее точек. Данный метод сводится к равномерному нанесению точек на изображение и к подсчету числа точек, приходящихся на нужную фазу. Реализовать его можно на микрофотографиях наложением прозрачной пленки с сеткой, узлы которой служат точками. Объём структурной составляющей рассчитывается как:

$$V = \frac{N_1}{N_0} \cdot 100, \% \quad (2)$$

где N_1 – число точек, приходящихся на структуру (фазу);
 N_0 – общее число точек в сетке.

Оба эти метода являются статистическими, то есть чем больше измерений проведено, тем надёжнее их результат. С другой стороны, очень большое количество измерений достаточно трудоемко, поэтому задают относительную погрешность метода δ , для которой можно найти необходимое число измерений. Современная техника для обработки цифровых изображений позволяет автоматизировать измерения данными методами.

Результаты исследований специальными методами металлографии имеют различные формы отображения – изображения для электронной микроскопии, лауэграммы для рентгеноскопии и др. Способы их анализа и обработки также зависят от конкретного метода.

3. ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

Для проведения лабораторной работы требуются:

– металлографический микроскоп МИМ-7 с инструкцией (рисунок 12);



Рис. 12. Микроскоп МИМ-7

- камера-приставка с ЭВМ для управления;
- программа для ЭВМ для расчётов точечным методом;
- набор подготовленных образцов из серого чугуна СЧ 20-22 ГОСТ 1412-85;
- контрольная карта образца с описанием структуры материала и требованиями к содержанию ферритной фазы.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Провести работу в следующем порядке:

- согласно инструкции установить объектив, окуляр и режим освещения микроскопа;
- взять образец и установить его на предметный столик;
- глядя в окуляр, навести резкость изображения;
- заменить окуляр камерой;
- запустить программу контроля камеры на ЭВМ, настроить резкость изображения;
- сделать снимок изображения;
- перемещая образец микровинтами столика, получить 10-15 снимков;
- запустить расчетную программу, задать значение погрешности;
- в диалоговом режиме открыть первый файл изображения, указать определяемую фазу, тип конверсии изображения и шаг точечного растра;
- запустить процесс расчёта, при недостаточном количестве изображений прервать программу, получить дополнительные изображения и повторить расчёт;
- получить рассчитанный относительный объём ферритной фазы, сравнить его с требованиями контрольной карты и сделать вывод о качестве материала.

5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- наименование и цель лабораторной работы;
- краткое изложение основных теоретических положений;
- описание фазового состава образца;
- найденное значение объёмного содержания феррита;
- вывод о годности материала на основании контрольной карты.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называют структурой материала?
2. С какой целью необходимо контролировать структуру?
3. Каким образом готовятся образцы для металлографического анализа?
4. Какие существуют уровни контроля структуры и какие параметры в них исследуются?
5. Какое оборудование используется для контроля структуры?
6. Расскажите об оценочном и балльном способах оценки изображений структуры.
7. В чем заключается способ количественной оценки структуры (фазы)?

7. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Материаловедение: учебник для вузов / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – 4-е изд. – Москва: Альянс, 2009. – 528 с.
2. Материаловедение и технология конструкционных материалов: учебник для ВУЗов / под ред. В. Б. Арзамасова и А. А. Черепяхина. – Москва: Академия, 2007. – 448 с.
3. Альбом микроструктур чугуна, стали, цветных металлов и их сплавов. – Москва: ИКЦ «Академкнига», 2004. – 192 с.
4. Металлы и сплавы. Справочник / В. К. Афонин, Б. С. Ермаков, Е. Л. Лебедев [и др.]. – Санкт-Петербург: АНО НПО «Профессионал»; АНО НПО «Мир и семья», 2003. – 1066 с.

ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ №5 «МЕТОД УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ»

Составитель: Баштанов В. Г.

1. МЕСТО ДЕФЕКТОСКОПИИ В ПРОЦЕССАХ КОНТРОЛЯ

В процессе изготовления деталей их материал подвергается различным воздействиям при обработке. Некоторые операции технологического процесса могут вызвать появление в материале изделия дефектов целостности. Например, термическая обработка может вызвать появление трещин при резком неравномерном охлаждении детали.

К дефектам целостности относятся глухие и сквозные трещины, кластеры мелких и крупные поры, окисные пленки в глубине материала и т.п. Наличие таких дефектов опасно снижением герметичности, износостойкости, коррозионной стойкости и особенно несущей способности изделий. Поэтому в производстве после технологических операций, могущих привести к образованию дефектов организуют контроль изделия при помощи методов дефектоскопии. Выявленные дефекты либо исправляют, либо все изделие бракуется.

Методами дефектоскопии называют способы поиска и локализации дефектов целостности, основанные на различных физических принципах – ультразвуковые, вихретоковые, капиллярные, газоаналитические и др. Эти методы относят к неразрушающим видам контроля. Условно можно разделить методы дефектоскопии на:

- универсальные, имеющие достаточно широкий диапазон условий применения;
- специальные, эффективные в узком диапазоне условий.

2. СУЩНОСТЬ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ

Упругие колебания, представляющие собой периодические изменения плотности среды, имеют свойство распространяться во всем её объеме, со временем затухая вследствие рассеяния энергии. Данный метод дефектоскопии основан на свойстве ко-

лебаний с частотами свыше 0,5 МГц распространяться в однородном твердом теле на большие расстояния в виде направленного пучка и отражаться от границ между двумя различными веществами, имеющими разные акустические свойства.

Ухо человека не воспринимает колебания с частотой свыше 0,2 МГц, поэтому такие колебания называли ультразвуком. Пучок колебаний, распространяясь в материале детали, отражается как от её поверхностей, так и от внутренних дефектов целостности. При возможности детектирования пучка колебаний разница в картинах его отражения или прохождения на участках с дефектами и без них различна. Изменение картины ультразвука на детекторе позволяет судить о наличии в данном месте внутреннего дефекта.

В настоящее время в качестве источников и детекторов ультразвука используются пьезоизлучатели в виде пластин из керамики специального состава. Принцип их работы основан на свойстве некоторых материалов изменять свои размеры под действием электрического поля. При подведении к боковым граням пластины переменного напряжения она генерирует колебания с частотой и амплитудой, зависящими от параметров напряжения. Если на пластину попадает пучок ультразвука, она работает как детектор, генерируя переменное напряжение.

Измерительным преобразователем дефектоскопа является ультразвуковая головка (УЗГ), конструкции головок показаны на рисунке 1. Головка прямого луча (рис. 1, а) состоит из корпуса 6, в котором закреплена пьезопластина 1; тонкий металлический лист 3 защищает её от истирания.

Резиновый демпфер 2 уменьшает рассеивание ультразвука в пластине. Электрический сигнал подводится по проводу 7. Головка наклонного луча (рис. 1, б) имеет призму 8 из стекла или пластмассы, отклоняющую пучок от вертикали. Комбинированная головка (рис. 1, в) содержит две пластины с демпферами и призмами, разделенные экраном 9.

Современные дефектоскопы работают на частотах от 1 до 2,5 МГц.

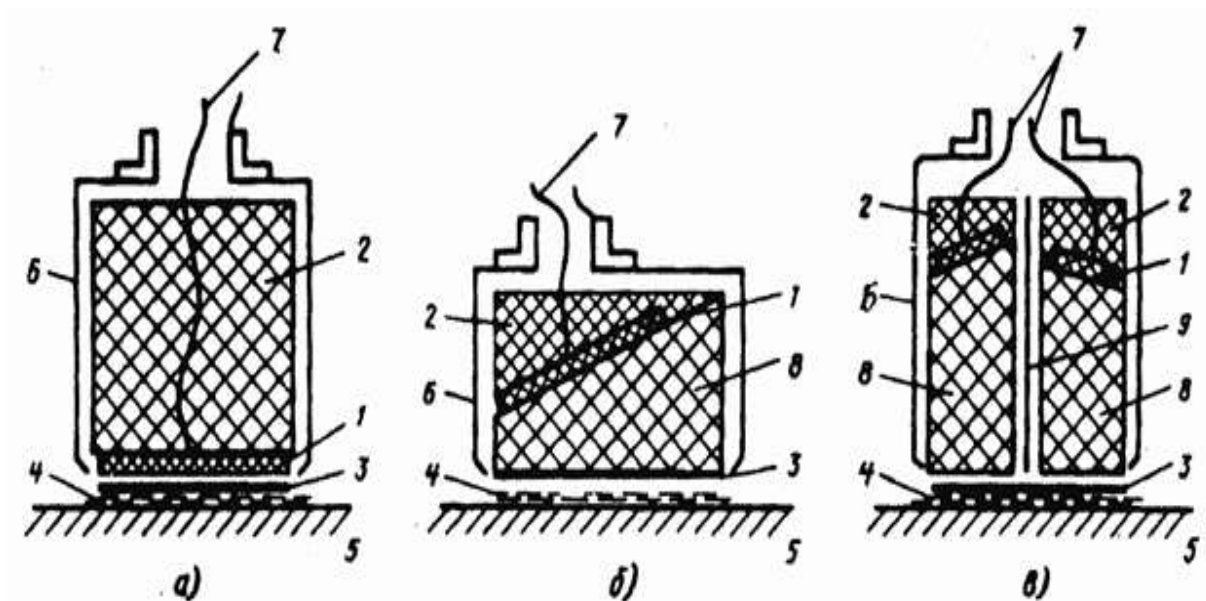


Рис. 1. Конструкции ультразвуковых головок

Существует множество разновидностей метода ультразвуковой дефектоскопии, эффективных в различных условиях и различающихся:

- взаимодействием звукового пучка с дефектами (рассеивание, прямое отражение, дифракция);
- конструкцией УЗГ (раздельная, совмещённая, многопучковая);
- положением УЗГ относительно области выявления дефектов.

На рисунке 2 приведены примеры разновидностей методов.

В эхо-импульсном методе (рис. 2, а) преобразователь излучает короткий ультразвуковой импульс и регистрирует импульсы, отраженные от дефектов. Задержка времени между зондирующим импульсом и эхо-импульсами дает информацию о глубине залегания дефектов. Данным методом хорошо находятся крупные поры, шлаковые включения, непровары и т. п.

В эхо-зеркальном методе (рис. 2, б) используются два преобразователя, расположенных с одной стороны изделия. Один из них служит источником волн, а второй регистрирует волны, отраженные от дефекта и донной поверхности изделия. Данный метод используется для выявления вертикально расположенных дефектов типа трещин. При контроле сварных швов удобно размещать УЗГ в стороне от шва на ровной поверхности.

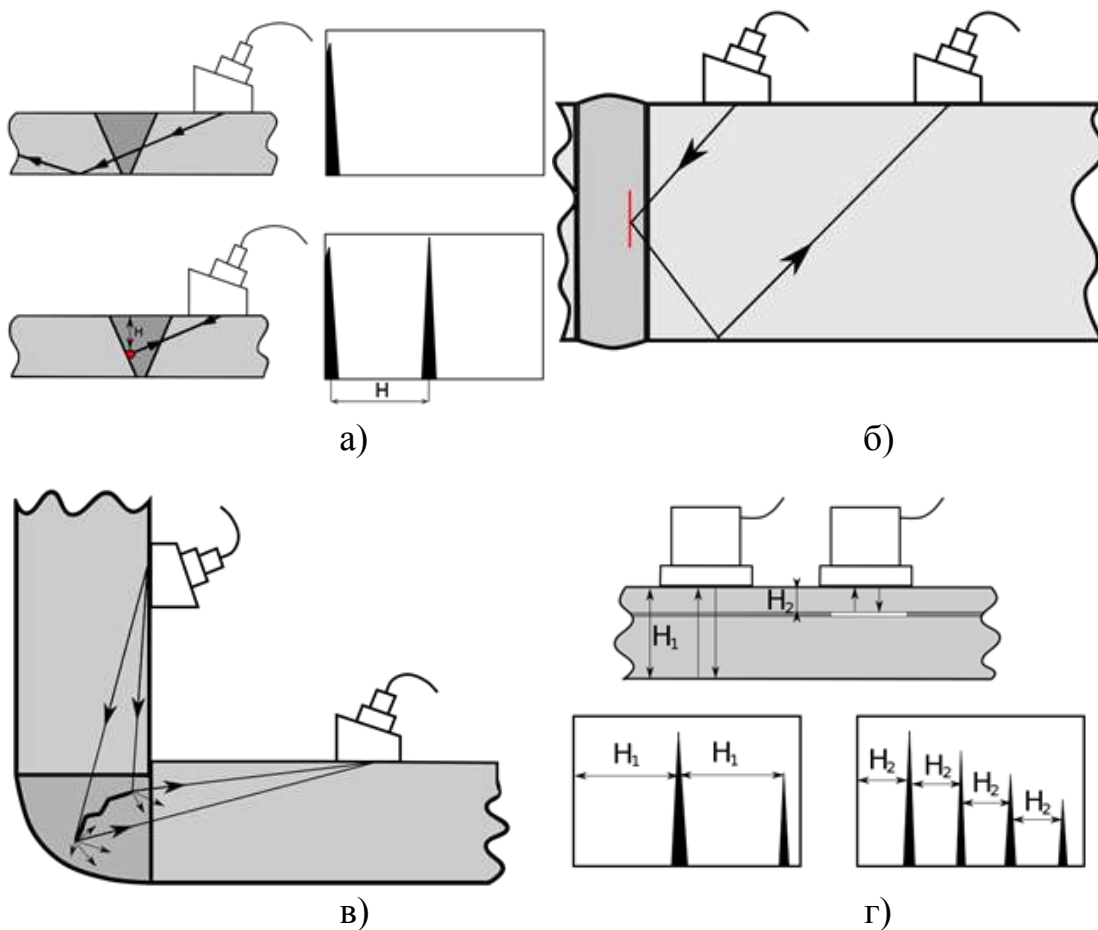


Рис. 2. Разновидности ультразвуковой дефектоскопии

В дифракционно-временном методе (рис. 2, в) используются два преобразователя (излучатель и приемник), расположенных с одной стороны изделия. Если дефект имеет острые кромки, что характерно для трещин, то волны от излучателя рассеиваются на краях дефекта, отражаясь во все стороны, в том числе в сторону приемника. Приемник регистрирует время прихода импульсов от обоих краев дефекта, что позволяет определить размеры дефекта. Данным методом удобно находить дефекты в труднодоступных местах детали.

В реверберационном методе (рис. 2, г) используется явление реверберации – это процесс постепенного уменьшения интенсивности звука при его многократных отражениях. Метод используется для контроля качества сцепления слоев в многослойных композитах. В случае контроля двухслойного материала при качественном соединении слоев ультразвуковой пучок будет про-

ходить из первого слоя во второй. В случае некачественного соединения будут наблюдаться многократные отражения от внутренней границы второго слоя.

Дефектоскопы, основанные на ультразвуковом принципе, работают по периодическому циклу, отправляя и принимая пучки волн через небольшие промежутки времени. В качестве устройства индикации первых приборов использовались электронно-лучевые трубки. Структурная схема дефектоскопа приведена на рисунке 3. Блок синхронизации 4 управляет циклом измерений, генерируя импульсы управления блоками 1 и 5.

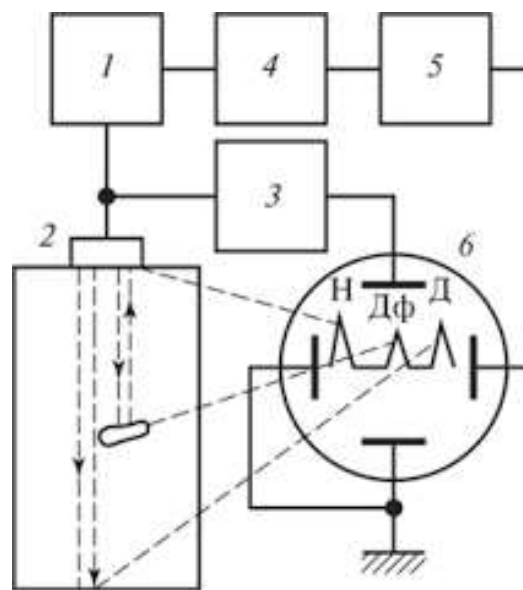


Рис. 3. Структурная схема ультразвукового дефектоскопа

Блок генератора 1 подает на УЗГ 2 импульс переменного тока для создания пучка волн. Блок горизонтальной развертки управляет устройством индикации 6, периодически рисуя горизонтальную линию. Сигналы, возникающие при приеме волн головкой через блок усилителя 3 управляют вертикальной разверткой устройства индикации, формируя пики.

Пик исходного импульса Π и отражения от противоположной поверхности Δ служат опорными точками для оператора. Появление промежуточных пиков $\Delta\phi$ говорит о наличии дефекта. По расстоянию между пиками можно судить о координатах дефекта.

Современные приборы оснащаются дисплеями на жидких кристаллах, что позволяет отображать дополнительные шкалы

для определения координат дефектов, линии контрольных уровней и др. При изображении пиков сигнал от УЗГ обрабатывается расчетным блоком прибора. Все это повышает надежность определения наличия дефекта, его размеров и координат.

Развитие техники привело к разработке ультразвуковых эхоскопов (рисунок 4). УЗГ сложной конструкции посылает и принимает веер звуковых пучков в пределах ограниченного сектора. Расчетный блок обрабатывает сигналы, которые сохраняются в блоке памяти. Устройство индикации строит картину расположения дефектов в плоской системе координат. Эхоскоп существенно облегчает поиск дефектов, определения их вида и размера.

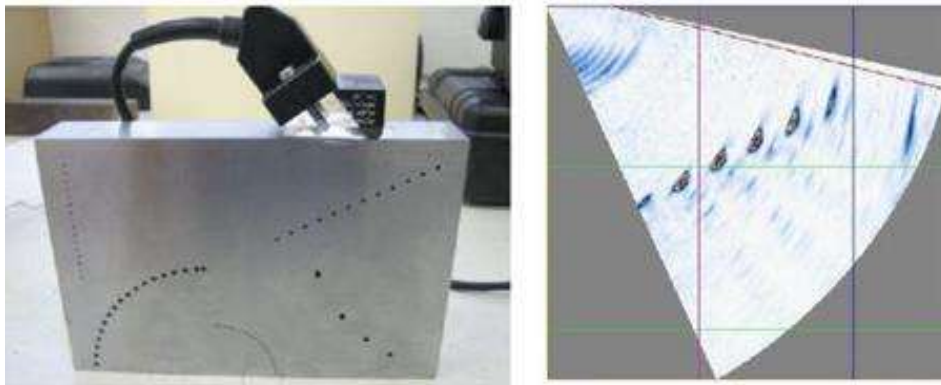


Рис. 4. Ультразвуковой эхоскоп

Ультразвуковая дефектоскопия относится к универсальным методам, так как:

- большинство используемых в промышленности материалов хорошо проводят ультразвук и могут контролироваться данным способом;
- множество разновидностей метода позволяет обнаруживать все виды дефектов в глубине материала;
- метод применим для деталей различных форм и размеров;
- помимо выявления дефектов, ультразвуковым методом можно измерять некоторые физико-механические характеристики материала (толщину, плотность, уровень внутренних напряжений и др.).

3. ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

Для проведения лабораторной работы требуется ультразвуковой дефектоскоп УСД-50, инструкция к дефектоскопу, контактная жидкость (глицерин или специальное масло), образцы с искусственными дефектами, карты дефектов образцов.

Дефектоскоп УСД-50 (рисунок 5) состоит из основного блока и набора ультразвуковых головок для разных условий (рисунок 6), подключающихся к блоку гибким проводом. На передней части блока расположены дисплей, кнопки настройки и световой сигнализатор. При настройке прибора вся информация о режимах работы отображается на дисплее.



Рис. 5. Дефектоскоп УСД-50



Рис. 6. Ультразвуковые головки

Дефектоскоп оснащен следующими видами устройств индикации:

- световая и звуковая при включенном режиме автоматического определения для локализации дефектов при быстром сканировании больших поверхностей;
- дисплейная с отображением пиков в системе координат для определения размеров дефектов при детальном исследовании небольшого участка.

Образцы для контроля представляют собой набор стальных пластин, в которых созданы искусственные дефекты в виде групп отверстий разного диаметра (от 0,2 до 1,5 мм). На карте дефектов указаны их положение с привязкой к краю образца и диаметр отверстий.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Провести работу в следующем порядке:

- выбрать и подключить УЗГ к блоку дефектоскопа;
- взять стальной образец;
- параллельно линии дефектов на расстоянии 5-10 мм нанести на образец контактную жидкость;
- согласно инструкции установить режим работы дефектоскопа (вид сканирования, чувствительность, уровень контрольной линии);
- взять копию карты дефектов;
- медленно перемещать УЗГ по контактной жидкости, при появлении устойчивого пика отражения, превышающего уровень контрольной линии, помечать дефект как обнаруженный;
- проверив все дефекты сделать выводы о разрешающей способности метода.

5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- наименование и цель лабораторной работы;
- краткое изложение основных теоретических положений;
- описание результатов ультразвуковой дефектоскопии;

- выводы о влиянии на результат контроля загрязнений, влажности и вида материала;
- копии карт дефектов образцов.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какую роль в процессах контроля играет дефектоскопия?
2. Какие виды дефектов могут быть обнаружены методами дефектоскопии?
3. Чем опасно наличие дефектов целостности в материале детали?
4. В чем разница между универсальными и специальными методами дефектоскопии?
5. Расскажите о физическом принципе ультразвукового метода.
6. Расскажите о конструкции ультразвуковой головки.
7. Каким образом устройство индикации дефектоскопа сигнализирует о найденном дефекте?

7. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маслов, Б. Г. Неразрушающий контроль сварных соединений и изделий в машиностроении: учеб. пособие – Москва: Издательский центр Академия, 2008. – 272 с.
2. Новые приборы неразрушающего контроля / под ред. В. А. Ильина и др. – Москва: Транспорт, 1990. – 61 с.
3. Горицкий, В. М. Диагностика металлов. – Москва: Металлургиздат, 2004. – 402 с.
4. Сварка. Резка. Контроль: справочник в 2 т. Т. 1 / под ред. Н. П. Алешина, Г. Г. Чернышова. – Москва: Машиностроение, 2004. – 478 с.

ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ №6 «МЕТОД ВИХРЕТОКОВОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ»

Составитель: Баштанов В. Г.

1. МЕСТО ДЕФЕКТОСКОПИИ В ПРОЦЕССАХ КОНТРОЛЯ

В процессе изготовления деталей их материал подвергается различным воздействиям при обработке. Некоторые операции технологического процесса могут вызвать появление в материале изделия дефектов целостности. Например, термическая обработка может вызвать появление трещин при резком неравномерном охлаждении детали.

К дефектам целостности относятся глухие и сквозные трещины, кластеры мелких и крупные поры, окисные пленки в глубине материала и т. п. Наличие таких дефектов опасно снижением герметичности, износостойкости, коррозионной стойкости и особенно несущей способности изделий. Поэтому в производстве после технологических операций, могущих привести к образованию дефектов организуют контроль изделия при помощи дефектоскопии. Выявленные дефекты либо исправляют, либо все изделие бракуется.

Методами дефектоскопии называют способы поиска и локализации дефектов целостности, основанные на различных физических принципах – ультразвуковые, вихрековые, капиллярные, газоаналитические и др. Эти методы относят к неразрушающим видам контроля. Условно можно разделить методы дефектоскопии на:

- универсальные, имеющие достаточно широкий диапазон условий применения;
- специальные, эффективные в узком диапазоне условий.

2. СУЩНОСТЬ ВИХРЕТОКОВОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ

Метод вихрековой дефектоскопии основан на законе электромагнитной индукции. Если приложить к материалу внешнее переменное магнитное поле, то оно наводит электродвижущую силу (ЭДС), которая, если материал проводит электрический ток,

создает в нем вихревые токи. Эти токи создают вторичные переменные магнитные поля, которые можно зарегистрировать измерительным преобразователем.

Общая функциональная схема прибора с накладным измерительным преобразователем приведена на рисунке 1.

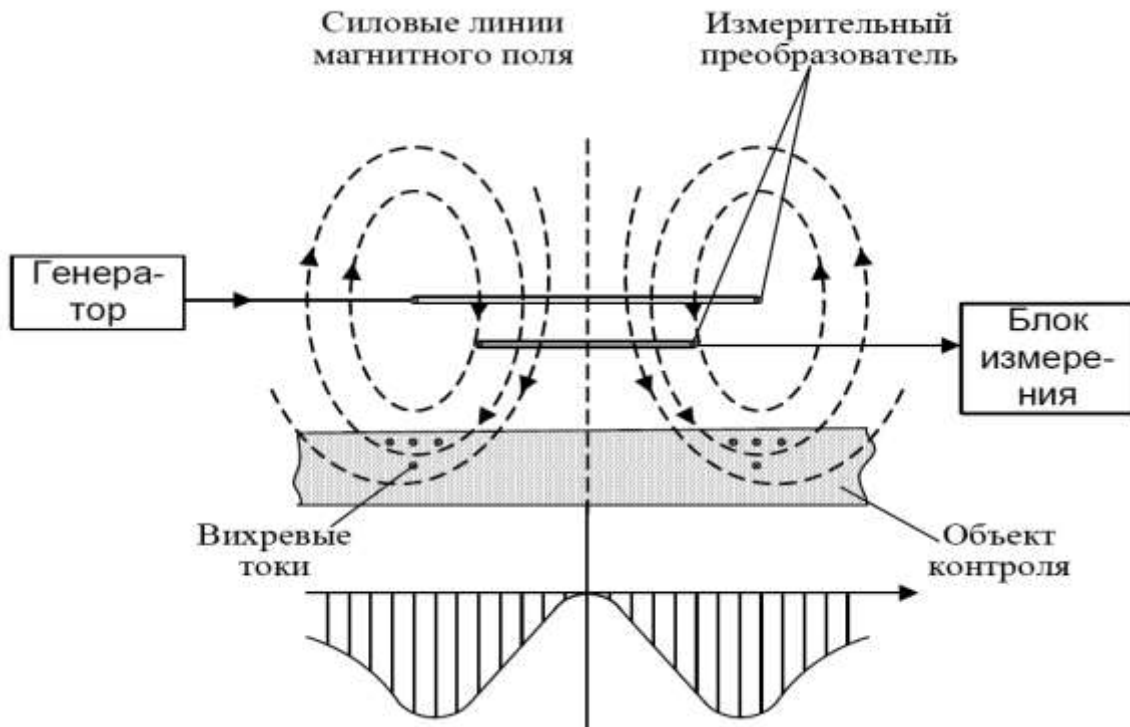


Рис. 1. Схема вихретоковой дефектоскопии

В качестве источника первичного поля используется одна генераторная катушка, причем частота и напряженность поля строго постоянны. Измерительный преобразователь состоит из нескольких индуктивных катушек, в которых вторичные магнитные поля наводят электрический ток.

Блок измерения анализирует величины и сдвиг фаз токов преобразователя и распознает наличие дефекта в материале. Информация о дефекте выдается на устройство индикации дефектоскопа. На рисунке 2 показана картина изменения вихревых токов при наличии дефекта.

Вихретоковая дефектоскопия относится к специальным методам, так как:

- контролируемый материал должен иметь высокую электрическую проводимость;

- надежность и высокое разрешение обеспечивается только для ферромагнитных материалов;
- обнаруживаются только дефекты, лежащие близко к поверхности детали.

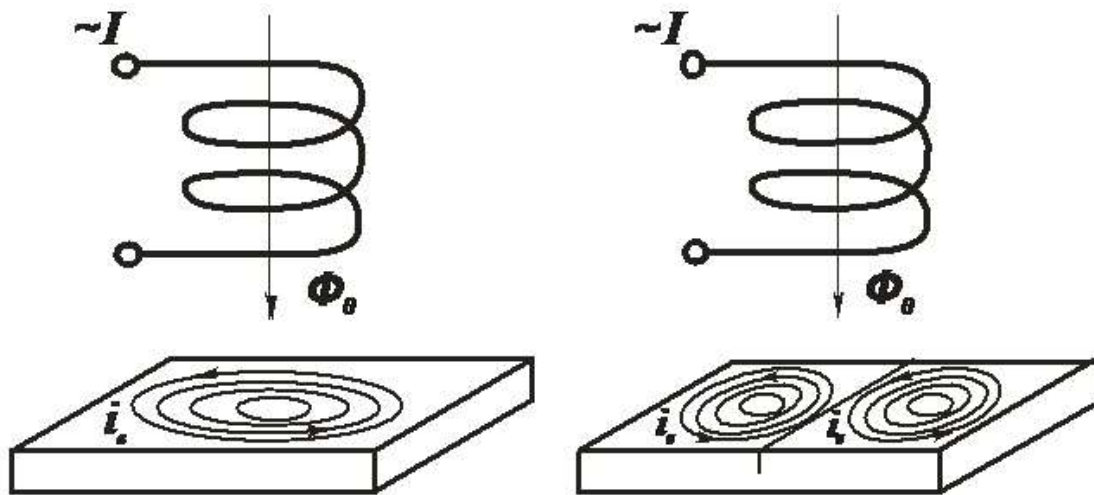


Рис. 2. Искажение вихревого тока дефектом

В своей области применения данный метод дефектоскопии достаточно эффективен, так как:

- современные измерительные щупы позволяют выявлять достаточно мелкие дефекты глубиной до 0,3 мм и протяженностью до 2 мм;
- измерительный щуп компактен и позволяет контролировать детали разных форм и размеров;
- между щупом и поверхностью детали допускается наличие зазора до 2 мм, что позволяет строить на базе данного метода системы автоматического контроля.
- на сигналы преобразователя практически не влияют влажность, давление и загрязненность воздуха, а также загрязнение поверхности объекта контроля непроводящими веществами.

3. ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

Для проведения лабораторной работы требуется вихретоковый дефектоскоп ВИТ-3М, образцы с искусственными дефектами, карты дефектов образцов.

Дефектоскоп ВИТ-3М (рисунок 3) состоит из основного блока и набора измерительных щупов разной формы, подключающихся к блоку гибким проводом.



Рис. 3. Дефектоскоп ВИТ-3М

На передней части блока дефектоскопа расположены: ручка управления интенсивностью сигнала (слева); стрелочный индикатор; ручка настройки уровня чувствительности (справа); кнопка установки ноля; кнопка проверки зарядки элементов питания.

Дефектоскоп оснащен следующими видами устройств индикации:

- световая на щупе для локализации дефектов при быстром сканировании больших поверхностей;
- стрелочная для определения размеров дефектов при детальном исследовании небольшого участка;
- звуковая (дублирует стрелочную) как изменение частоты тона пропорционально отклонению стрелки для работы в темных и труднодоступных местах.

Образцы для контроля представляют собой набор пластин из двух видов материалов – углеродистой стали как ферромагнетика и алюминиевого сплава как нейтрального к магнитному полю. В пластинах созданы искусственные дефекты в виде групп отвер-

ствий разного диаметра (от 0,2 до 1,5 мм). На карте дефектов указаны их положение с привязкой к краю образца и диаметр отверстий.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Провести работу в следующем порядке:

- выбрать и подключить щуп к блоку дефектоскопа;
- взять стальной образец;
- установить щуп на место, где дефект заведомо отсутствует и нажать кнопку установки нуля прибора;
- взять копию карты дефектов;
- перемещать щуп согласно карте и при переходе стрелки на черную половину шкалы пометить дефект как обнаруженный;
- проверив все дефекты сделать выводы о разрешающей способности метода;
- положить на образец лист бумаги и повторить проверку, сделав вывод о влиянии загрязнений на чувствительность метода;
- смочив поверхность образца водой, повторить проверку, сделав вывод о влиянии влажности на чувствительность метода;
- взять алюминиевый образец;
- повторить все виды проверок и сделать вывод о влиянии магнитных свойств материала на чувствительность метода.

5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- наименование и цель лабораторной работы;
- краткое изложение основных теоретических положений;
- описание результатов вихретоковой дефектоскопии;
- выводы о влиянии на результат контроля загрязнений, влажности и вида материала;
- копии карт дефектов образцов.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какую роль в процессах контроля играет дефектоскопия?
2. Какие виды дефектов могут быть обнаружены методами дефектоскопии?
3. Чем опасно наличие дефектов целостности в материале детали?
4. В чем разница между универсальными и специальными методами дефектоскопии?
5. Расскажите о физическом принципе вихретокового метода.
6. В каких условиях возможно применение вихретокового метода?
7. Каким образом дефектоскоп сигнализирует о найденном дефекте?

7. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маслов, Б. Г. Неразрушающий контроль сварных соединений и изделий в машиностроении: учеб. пособие – Москва: Издательский центр Академия, 2008. – 272 с.
2. Каневский, И. Н. Неразрушающие методы контроля: учеб. пособие / И. Н. Каневский, Е. Н. Сальникова. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 243 с.
3. Горицкий, В. М. Диагностика металлов. – Москва: Металлургиздат, 2004. – 402 с.
4. Сварка. Резка. Контроль: справочник в 2 т. Т. 1 / под ред. Н. П. Алешина, Г. Г. Чернышова. – Москва: Машиностроение, 2004. – 478 с.

САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

1. Изучение раздела № 1 дисциплины.

1.1. Изучение материала по теме «Измерение физических величин»

- Понятие физической величины;
- Воспроизведение единиц физических величин;
- Роль измерений в производственном контроле.

1.2. Оформление, подготовка и защита отчета по лабораторному занятию:

2. Изучение раздела № 2 дисциплины.

2.1. Изучение материала по теме «Числовые и предельные средства измерений в процессах контроля»

- Особенности числовых средств измерений;
- Особенности предельных средств измерений;
- Выбор средств измерений в процессах контроля.

2.2. Оформление, подготовка и защита отчета по лабораторному занятию:

3. Изучение раздела № 3 дисциплины.

3.1. Изучение материала по теме «Методы испытания механических свойств материалов»

- Понятие испытания в производственном контроле;
- Особенности испытаний статическим нагружением;
- Особенности испытаний на выносливость;
- Определение твердости материала.

3.2. Оформление, подготовка и защита отчета по лабораторному занятию:

4. Изучение раздела № 4 дисциплины.

4.1. Изучение материала по теме «Металлографические методы контроля структуры материалов»

- Понятие структуры материала;
- Уровни структур и способы получения их изображений;
- Методики контроля структуры.

4.2. Оформление, подготовка и защита отчета по лабораторному занятию:

5. Изучение раздела № 5 дисциплины.

5.1. Изучение материала по теме «Метод ультразвуковой дефектоскопии»

- Виды дефектов целостности изделий;
- Общие принципы дефектоскопии;
- Применение ультразвука в дефектоскопии.

5.2. Оформление, подготовка и защита отчета по лабораторному занятию:

6. Изучение раздела № 6 дисциплины.

6.1. Изучение материала по теме «Метод вихретоковой дефектоскопии»

- Универсальные и специальные методы дефектоскопии;
- Принцип вихретоковой дефектоскопии;
- Условия применения вихретоковой дефектоскопии.

6.2. Оформление, подготовка и защита отчета по лабораторному занятию: