

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И
НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра метрологии, стандартизации и сертификации

В.А. НИКИТИН
А.С. ВОЛЬНОВ

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ТВЁРДОСТИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЕ

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом
государственного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Оренбург 2009

УДК 006.9:669.017(07)

ББК 30.10я 7

Н 62

Рецензент

кандидат технических наук, доцент А. Л. Воробьев

Никитин В. А.

Н 62 Методы и средства измерения твёрдости металлов и сплавов: методические указания. / В. А. Никитин, А. С. Вольнов. – Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2009. – 50 с.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторно-практических работ по курсу «Методы и средства измерений, испытаний и контроля» для студентов второго и третьего курса по специальностям 220301, 151001, 151002, 200503, 190601, 190603, 190702.

В методическом указании изложен материал, позволяющий выбрать средство измерения для измерения твёрдости металлов и сплавов. Приведены требуемый для понимания рассматриваемых вопросов минимум теоретического материала, справочно–нормативные данные по свойствам материалов и методах их измерения.

ББК 30.10я 7

© Никитин В.А.,
Вольнов А.С. 2009
© ГОУ ОГУ, 2009

Содержание

Введение.....	4
1 Цель работы.....	5
2 Общие сведения.....	5
3 Методы измерения твёрдости	6
3.1 Статические методы измерения твёрдости.....	6
3.1.1 Метод Бринелля	6
3.1.2 Методы Роквелла и Супер-Роквелла.....	9
3.1.3 Метод Виккерса	14
3.1.4 Измерение микротвёрдости.....	15
3.1.5 Измерение твёрдости царапанием.....	17
3.2 Динамические методы.....	17
3.2.1 Определение твёрдости с помощью падающего груза	17
3.2.2 Определение твёрдости методом удара.....	17
3.2.3 Определение твёрдости методом упругой отдачи (метод Шора)	18
3.2.4 Акустический метод.....	19
4 Назначение твердомера МЕТ-УД.....	21
5 Общие указания при работе с твердомером МЕТ-УД.....	23
6 Технические характеристики твердомера МЕТ-УД	24
7 Комплектация твердомера МЕТ-УД	26
8 Устройство и принцип работы твердомера МЕТ-УД	27
9 Порядок выполнения измерения твердомером МЕТ-УД.....	32
10 Методика поверки твердомеров серии МЕТ.....	42
11 Контрольные вопросы.....	45
12 Варианты для выполнения лабораторной работы.....	46
Список использованных источников.....	47
Приложение А Пример отчёта по лабораторной работе.....	48

Введение

С процессами измерения в настоящее время имеет дело любой человек. Даже современный быт заполнен приборами и измерениями. А про технику говорить вообще не приходится, измерительный прибор главная часть любого производства, а измерение – важнейшая часть почти любой работы.

Для того чтобы убедить потребителя и изготовителя в достоверности информации о качестве продукции, работ или услуг, необходимо иметь объективные методы оценки качества. В современном мире все шире используются количественные методы оценки, основанные на точных измерениях. Все большую роль играют измерения в производстве. Сами технологические процессы сейчас в значительной мере состоят из измерительных операций, удельный вес которых, по мере автоматизации производства, все более возрастает. Без точных измерений невозможно обеспечить высокое качество изготавливаемой продукции. Ведь качество любого изделия зависит от многих факторов, и, в том числе, от качества исходного сырья, материалов и полуфабрикатов. Для контроля качества как исходных материалов, так и готовой продукции в настоящее время требуется самая разнообразная, часто очень сложная измерительная техника. В большинстве случаев точные измерения – неотъемлемая часть не только процессов производства и контроля качества продукции, но и процессов, используемых при проведении работ, предоставлении и оказании услуг, а также научных исследований и экспериментов. И только достоверность и соответствующая точность результатов измерений обеспечивает правильность принимаемых решений на всех уровнях управления. Получение недостоверной информации приводит к неверным решениям, снижению качества продукции, возможным авариям.

В данном методическом указании рассмотрены методы измерения твёрдости, устройство и принцип работы твёрдомера МЕТ-УД для измерения твёрдости металлов и сплавов.

1 Цель работы

Ознакомиться с методами определения твёрдости металлов и сплавов, устройством и принципом работы твердомера МЕТ-УД, правилами эксплуатации.

2 Общие сведения

Измерение твёрдости – наиболее доступный и легко осуществимый на практике метод определения механических свойств материалов. Поскольку контроль твёрдости является значительно менее трудоёмкой операцией, чем большинство других видов испытаний, и не сопровождается разрушением изделия, этот вид испытаний широко распространён в промышленности. На этом методе основан контроль технологических процессов в различных отраслях народного хозяйства, определение эксплуатационных характеристик изделий при различных напряжениях, выбор режимов механической обработки и т. д.

Твёрдость – свойство материала (твёрдого тела) оказывать сопротивление пластической деформации при контактном воздействии в поверхностном слое. Физические теории твёрдого тела не в состоянии описать твёрдость различных материалов из-за неопределённого многообразия факторов, от которых она зависит. Поэтому понятие "твёрдость" без указания метода и условий измерения является неопределённым. Говоря о твёрдости, подразумевают не физическую постоянную, характеризующую материал, а одну из величин, измеренную по одному из методов и зависящую не только от материала, но и от условий и метода измерения.

Из всего многообразия методов измерения твёрдости металлов и сплавов наибольшее распространение получили методы измерения по шкалам Роквелла, Виккерса, Бринелля и Шора. Указанные методы стандартизованы во всех промышленно развитых странах. Кроме того, существуют шкалы измерений твёрдости других материалов: резины, пластмасс и пр., установленные в многочисленных стандартах на испытания различных видов продукции. Метрологическое обеспечение таких шкал осуществляется с использованием стандартных средств других видов измерений (массы, силы, длины и др.).

3 Методы измерения твёрдости

Методы измерения твёрдости предусматривают внедрение индентора (стального шарика, алмазного конуса, алмазной пирамиды, алмазного наконечника) и определение размеров его отпечатка.

Методы измерения твёрдости материалов можно разделить на статические и динамические.

3.1 Статические методы измерения твёрдости

Нагрузку к индентору при статических измерениях прикладывают плавно и постепенно, причем время выдержки под нагрузкой регламентируется соответствующими стандартами на методы измерения твёрдости.

3.1.1 Метод Бринелля

Метод измерения твёрдости по Бринеллю регламентирован ГОСТ 9012–59. При определении твёрдости по Бринеллю стальной шарик диаметром D вдавливается в испытуемый образец под действием нагрузки P , приложенной в течение определенного времени (Рисунок 1).

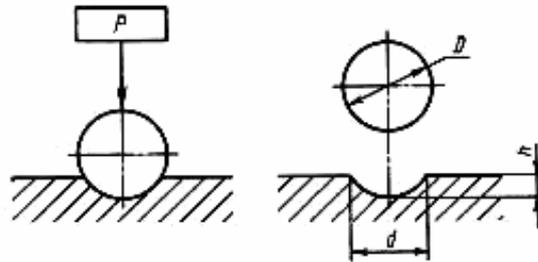


Рисунок 1 – Схема испытания на твёрдость по Бринеллю

Число твёрдости по Бринеллю (НВ) определяют путём деления нагрузки P , Н, на площадь поверхности сферического отпечатка (мм^2) и вычисляют по формуле:

$$HB(HBW) = \frac{P}{A} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1)$$

- где НВ – твёрдость по Бринеллю при применении стального шарика;
НВW – твёрдость по Бринеллю при применении шарика из твёрдого сплава;
 F – усилие, действующее на шарик, Н (кгс);
 A – площадь поверхности сферического отпечатка, мм^2 ;
 D – диаметр шарика, мм;
 d – диаметр отпечатка, мм.

Сферические инденторы дают геометрические неподобные отпечатки разных размеров. Подобные отпечатки получаются только тогда, когда при разных диаметрах шариков относительные глубины отпечатков равны. Практически это условие трудно выполнить. Приняв $d=(0,2...0,6)D$ и для определённых уровней твёрдостей установив соответствующие нагрузки, можно получить подобные отпечатки, а следовательно, одинаковую твёрдость одного и того же материала, если нагрузки P относятся как квадраты диаметров D шариков.

Для более точного измерения твёрдости следует применять шарики наибольшего диаметра, т.е. 10 мм. При измерении твёрдости чугуна и крупнозернистых материалов использование большого шарика даёт более, точное среднее значение твёрдости структур, состоящих из разных структурных составляющих.

Диаметр шарика и нагрузку выбирают в соответствии с характером, формой и размером образца. Тонкие образцы, особенно образцы с сильно искривленной поверхностью, а также тонкостенные полые образцы необходимо испытывать при малых нагрузках.

Измерение твёрдости должно проводиться при температуре (20 ± 10) °С. Прибор должен быть защищён от ударов и вибрации. Опорные поверхности столика и подставки, а также опорные и рабочие поверхности образца должны быть очищены от посторонних веществ (окалины, смазки). Образец должен быть установлен на столике или подставке устойчиво во избежание его смещения и прогиба во время измерения твёрдости.

При твёрдости металлов менее 450 единиц для измерения твёрдости применяют стальные шарики или шарики из твёрдого сплава, при твёрдости металлов более 450 единиц – шарики из твёрдого сплава.

Значение K выбирают в зависимости от металла и его твёрдости в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1 – Значения коэффициента K

Материал	Твёрдость по Бринеллю	K
Сталь, чугун, высокопрочные сплавы (на основе никеля, кобальта и др.)	До 140	10
	140 и более	30
Титан и сплавы на его основе	От 50	15
Медь и сплавы на его основе, легкие металлы и их сплавы	Менее 35	5
	От 35	10
Подшипниковые сплавы	От 8 до 50	2,5
Свинец, олово и другие мягкие металлы	До 20	1

Усилие P и зависимости от значения K и диаметра шарика D устанавливают в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2 – Значения нагрузки в зависимости от коэффициента К и диаметра шарика D

Диаметр шарика D, мм	Усилие P, Н (кгс) для К					
	30	15	10	5	2,5	1
1,0	294,2 (30)		98,07 (10)	49,03 (5)	24,52 (2,5)	9,807 (1)
2,0	1177 (120)		392,3 (40)	196,1 (20)	98,07 (10)	39,23 (4)
2,5	1839 (187,5)		612,9 (62,5)	306,0 (31,2)	153,0 (15,6)	60,80 (6,2)
5,0	7355 (750)		2452 (250)	1226 (125)	612,9 (62,5)	245,2 (25)
10,0	29420 (3000)	14710 (1500)	9807 (1000)	4903 (500)	2452 (250)	98,7 (100)

Диаметр шарика D и соответствующее усилие P выбирают таким образом, чтобы диаметр отпечатка находится в пределах от 0,24D до 0,6D.

При измерении твёрдости наконечник плавно приводят в соприкосновение с поверхностью образца и плавно прикладывают заданное усилие P до тех пор, пока оно не достигнет необходимой величины.

Продолжительность выдержки наконечника под действием заданного усилия должна соответствовать таблице 3, если не имеется других указаний в нормативно-технической документации на металлопродукцию.

Таблица 3 – Продолжительность выдержки

Твёрдость по Бринеллю HB, HBW	Продолжительность выдержки, с
До 10	180
Свыше 10 до 35	120
от 35 до 100	30
от 100	10-15

Диаметр отпечатка должен быть измерен с помощью измерительного микроскопа в сотых долях миллиметра. Диаметр отпечатка необходимо определять как среднее арифметическое из двух измерений взаимно-перпендикулярных диаметров.

Твёрдость по Бринеллю обозначают символом HB (HBW), которому предшествует числовое значение твёрдости из трех значащих цифр, и после символа указывают диаметр шарика, значение приложенного усилия (в кгс), продолжительность выдержки, если она отличается от 10 до 15 с.

Примеры обозначения:

250 НВ 5/750 – твёрдость по Бринеллю 250, определённая при применении стального шарика диаметром 5 мм при усилии 750 кгс (7355 Н) и продолжительности выдержки от 10 до 15 с.

575 НВW 2,5/187,5/30 – твёрдость по Бринеллю 575, определённая при применении шарика из твёрдого сплава диаметром 2,5 мм при усилии 187,5 кгс (1839 Н) и продолжительности выдержки 30 с.

Числа твёрдости по Бринеллю (НВ) для каждого отпечатка шарика приведены в приложении 3 ГОСТ 9012–59.

Число твёрдости по Бринеллю зависит от предварительной горячей или холодной обработки металлов давлением и температуры испытания точно так же, как предел прочности. Существует соотношение между числом: твёрдости по Бринеллю и пределом прочности испытуемого образца:

$$\sigma_B = k \cdot \text{НВ} \quad (2)$$

где k – коэффициент, зависящий от материала;

$k = 0,34$ – сталь НВ 120 ... 175;

$k = 0,35$ – сталь НВ 175 ... 450;

$k = 0,55$ – медь, латунь и бронза отожженные;

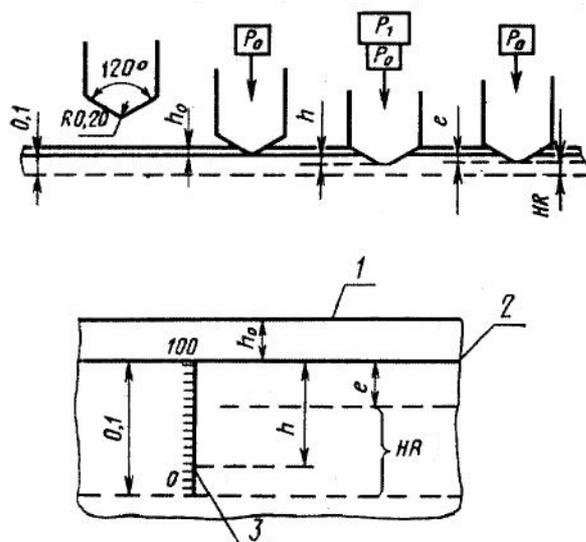
$k = 0,40$ – медь, латунь и бронза наклепанные;

$k = 0,33 \dots 0,36$ – алюминий и его сплавы.

Значительные размеры отпечатков дают возможность измерить твёрдость с большой точностью, следовательно, метод Бринелля можно использовать при изучении вопросов, связанных с исследованием пластической деформации и процессов деформирования, при которых размеры пластической области соизмеримы с размером отпечатка при измерении твёрдости.

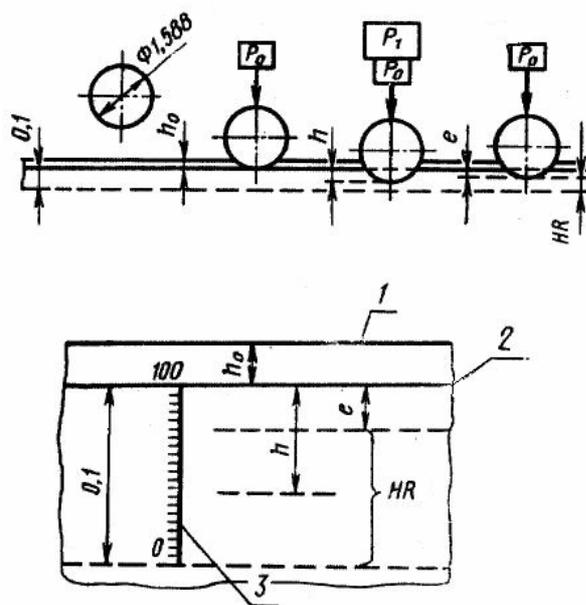
3.1.2 Методы Роквелла и Супер-Роквелла

Метод измерения твёрдости по Роквеллу (ГОСТ 9013–59) применяют для определения твёрдости чёрных и цветных металлов и сплавов (шкалы А, В, С, D, E, F, G, H, K) при температуре (20 ± 10) °С. Сущность метода заключается во внедрении в поверхность образца (или изделия) алмазного конусного (шкалы А, С, D) или стального сферического наконечника (шкалы В, E, F, G, H, K) под действием последовательно прилагаемых усилий предварительного P_0 и основного P_1 усилий и в определении глубины внедрения наконечника после снятия основного усилия P_1 (Рисунок 2, 3).



1 – поверхность испытуемого образца; 2 – исходная поверхность при измерении; 3 – шкала твёрдости.

Рисунок 2 – Схема проведения измерения твёрдости при применении алмазного наконечника



1 – поверхность испытуемого образца; 2 – исходная поверхность при измерении; 3 – шкала твёрдости.

Рисунок 3 – Схема проведения измерения твёрдости при применении стального наконечника

На рисунке 2, 3 показаны:

1) h_0 – глубина внедрения наконечника под действием предварительной нагрузки P_0 мм;

2) h – глубина внедрения наконечника под действием основной нагрузки P_1 мм;

3) e – остаточное увеличение глубины внедрения наконечника, измеренное после снятия основной нагрузки при сохранении предварительной нагрузки P_0 выражается в условных единицах шкалы индикатора с ценой деления 0,001 мм.

Толщина образца (или изделия) должна не менее чем в 10 раз превышать глубину внедрения наконечника после снятия основного усилия P_1 .

Шероховатость поверхности образца (или участка для измерения твердости изделия) R_a , должна быть не более 2,5 мкм по ГОСТ 2789, если нет других указаний в нормативно–технической документации на металлопродукцию.

Образец должен быть подготовлен таким образом, чтобы не изменялись его свойства в результате механической или другой обработки, например, от нагрева или наклепа.

Приборы для измерения твёрдости должны обеспечивать приложение усилий, приведенных в таблице 4.

Таблица 4 – Значения нагрузки в зависимости от вида шкалы

Шкала твёрдости	Обозначение единицы измерения	Предварительное усилие P_0	Основное усилие P_1	Общее усилие P	Диапазон измерений, ед. твёрдости
A	HRA	98,07 (10)	490,3 (50)	588,4 (60)	20–88
B	HRB	98,07 (10)	882,6 (90)	980,7 (100)	20–100
C	HRC	98,07 (10)	1373 (140)	1471 (150)	20–70
D	HRC	98,07 (10)	882,6 (90)	980,7 (100)	40–77
E	HRE	98,07 (10)	882,6 (90)	980,7 (100)	70–100
F	HRF	98,07 (10)	490,3 (50)	588,4 (60)	60–100
G	HRG	98,07 (10)	1373 (140)	1471(150)	30–94
H	HRH	98,07 (10)	490,3 (50)	588,4 (60)	80–100
K	HRK	98,07 (10)	1373 (140)	1471(150)	40–100

Опорные поверхности столика и подставки, а также опорные и рабочие поверхности образца (или изделия) должны быть очищены от посторонних веществ (окалины, смазки и др.). Образец должен быть установлен на столике или подставке устойчиво во избежание его смещения и прогиба во время измерения твёрдости.

Прибор при измерении твёрдости должен быть защищён от вибрации и ударов.

При измерении твёрдости должны соблюдаться условия:

- плавное приведение наконечника в контакт с рабочей поверхностью образца (или изделия);
- плавное приложение предварительного P_0 и основного P , (в течение 2– 8 с) усилий;
- плавное снятие основного усилия P , через 1–3 с после резкого замедления или остановки стрелки индикатора (или изменения показаний цифрового отсчетного устройства).

Расстояние между центрами двух соседних отпечатков должно быть не менее четырех диаметров отпечатка (но не менее 2 мм). Расстояние от центра отпечатка до края образца должно быть не менее 2,5 диаметра отпечатка (но не менее 1 мм). На опорной поверхности образца (или изделия) не должно наблюдаться следов деформации от отпечатка.

Число твёрдости по Роквеллу определяется по шкале индикатора или показателя цифрового отчетного устройства с округлением до 0,5 единицы твёрдости.

При измерении твёрдости на выпуклых цилиндрических и сферических поверхностях по шкалам А, В, С, D, F, G в результаты измерения твёрдости должны быть введены поправки, величины которых приведены в приложении 3 ГОСТ 9013–59. Поправки прибавляются к полученным значениям твердости.

Твёрдость определяют по шкалам, соответствующим установленным нагрузкам. Для измерения по шкалам А, С и D используют алмазные конусы с углом при вершине 120^0 и радиусом закругления при вершине 0,2 мм. При измерении твёрдости по шкале В, F, G в качестве индентора используют стальной шарик диаметром 1,588 мм, а для шкал Е, Н, К стальной шарик диаметром 3,175 мм. Метод измерения твёрдости по Роквеллу даёт возможность быстро проводить испытания, поскольку фиксация числа твёрдости производится непосредственно на шкале прибора для измерения твёрдости.

Твёрдость по Роквеллу определяют в условных единицах. За единицу твёрдости принята величина, соответствующая осевому перемещению наконечника на 0,002 мм. Остаточную деформацию определяют после снятия основной нагрузки. Число твёрдости отсчитывают по шкале индикатора часового типа, стрелка которого автоматически показывает результат вычитания разности глубин в миллиметрах, на которые вдавливаются наконечник индентора под действием двух последовательно приложенных нагрузок, из некоторой постоянной, выраженной в миллиметрах.

Твёрдость по Роквеллу обозначают HR с добавлением латинской буквы, обозначающей шкалу, по которой проводились измерения.

Число твёрдости по Роквеллу при измерении по шкалам А, С и D определяют путем вдавливания алмазного конуса и вычисляют по формуле:

$$HR = 100 - \frac{h - h_0}{0,002} \quad (3)$$

где h_0 – глубина внедрения наконечника в испытуемый образец под

действием предварительной нагрузки P_0 ;
 h – глубина внедрения наконечника в испытуемый образец под действием общей нагрузки P , измеренная после снятия основной нагрузки P_1 с оставлением предварительной нагрузки P_0 .

Число твёрдости при измерении по шкале В, Е, F, G, Н, К определяют путём вдавливания стального шарика и вычисляют по формуле:

$$HR = 130 - \frac{h - h_0}{0,002} \quad (4)$$

где h_0 – глубина внедрения наконечника в испытуемый образец под действием предварительной нагрузки P_0 ;

h – глубина внедрения наконечника в испытуемый образец под действием общей нагрузки P , измеренная после снятия основной нагрузки P_1 с оставлением предварительной нагрузки P_0 .

Измерение твёрдости по Роквеллу получило широкое применение, поскольку позволяет определять твёрдость быстро и просто. Получаемые отпечатки относительно малы, поэтому этот метод применяют в массовом производстве для контроля готовых штучных деталей.

Для расширения области применения метода Роквелла при малых нагрузках следует применять метод Супер–Роквелла. Проведение измерений и определение числа твёрдости по методу Супер–Роквелла регламентирует ГОСТ 22975–78.

Измерение твёрдости по методу Супер–Роквелла основано на вдавливании наконечника стандартного типа с алмазным конусом (шкала HRN) или со стальным шариком (шкала HRT) в поверхность образца в два последовательных приёма и в измерении остаточного увеличения глубины внедрения этого наконечника при нагрузках от 147 Н (15 кгс) до 441 Н (45 кгс) (Рисунок 2, 3).

Шкала для проведения испытаний выбирается в зависимости от толщины образца и ожидаемой твёрдости таким образом, чтобы на обратной стороне его не было заметно следов деформации от отпечатка. Зависимость выбора шкалы от толщины образца и ожидаемой твёрдости приведена в таблицах 1 и 2 обязательного приложения 1 ГОСТ 22975–78.

При измерении твёрдости алмазным конусом (шкала N) или стальным шариком (шкала T) твёрдость обозначается: 75 HRN 15 (твёрдость 75, шкала N, нагрузка 147 Н (15 кгс)) или 49 HRT 30 (твёрдость 49, шкала T, нагрузка 294 Н (30 кгс)).

При определении твёрдости на цилиндрических выпуклых поверхностях диаметром, равным или меньшим 25 мм, к значению твёрдости прибавляют поправки, указанные в таблицах 3 и 4 обязательного приложения 1 ГОСТ 22975–78. Поправки к значениям твёрдости для образцов с криволинейными

поверхностями, отличными от выпуклых цилиндрических, приведены в рекомендуемом приложении 2 ГОСТ 22975–78.

3.1.3 Метод Виккерса

Метод измерения твёрдости по Виккерсу регламентирован ГОСТ 2999–75. Твёрдость чёрных и цветных металлов и сплавов измеряют при нагрузках от 9,8 Н (1 кгс) до 980 Н (100 кгс).

Измерение твёрдости основано на вдавливании алмазного наконечника в форме правильной четырехгранной пирамиды в образец под действием нагрузки P , приложенной в течение определенного времени, и измерении диагоналей отпечатка d_1 и d_2 , оставшихся на поверхности образца после снятия нагрузки (Рисунок 4).

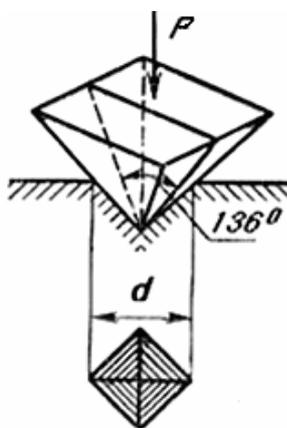


Рисунок 4 – Схема испытания на твердость по Виккерсу

Твёрдость по Виккерсу HV вычисляют по формуле:

$$HV = \frac{P}{M} = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1,854 \frac{P}{d^2} \quad (5)$$

где P – нагрузка, Н;

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

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

При изготовлении образца и при подготовке его поверхности необходимо принимать меры, предотвращающие возможность изменения свойств металла из-за нагрева или наклепа. Поверхность испытуемого образца должна иметь шероховатость не более 0,16 мкм по ГОСТ 2789–73 и быть свободной от окисной плёнки и посторонних веществ.

При измерении твёрдости должна быть обеспечена перпендикулярность приложения действующего усилия к испытуемой поверхности.

Опорная поверхность столика должна быть чистой. Образец должен лежать на подставке жестко и устойчиво.

При измерении твёрдости алмазной пирамидой применяются следующие нагрузки: 9,807 (1); 19,61 (2); 24,52 (2,5); 29,42 (3); 49,03 (5); 98,07 (10); 196,1 (20); 294,2 (30); 490,3 (50); 980,7 (100) Н (кгс).

Для получения более точного результата измерения твёрдости нагрузка должна быть возможно больше, причем на обратной стороне образца не должно быть заметно следов деформации.

При измерении твёрдости должны быть соблюдены следующие условия:

- постепенное возрастание нагрузки до необходимого значения;
- поддержание постоянства приложенной нагрузки в течение установленного времени.

Расстояние между центром отпечатка и краем образца или краем соседнего отпечатка должно быть не менее 2,5 длины диагонали отпечатка. Минимальная толщина образца или слоя должна быть для стальных изделий больше диагонали отпечатка в 1,2 раза, для изделий из цветных металлов – в 1,5 раза.

Символ HV сопровождается индексами, указывающими нагрузку и время выдержки, если это время отличается от рекомендуемого стандартом (10–15 с). Например: 30HV означает число твёрдости, полученное при нагрузке 300 Н и времени выдержки 10–15 с; 220 HV 10/40 – твёрдость по Виккерсу, определенная при нагрузке 100 Н, приложенной в течение 40 с. При измерении твёрдости алмазной пирамидой применяют следующие нагрузки: 10; 20; 25; 30; 50; 100; 200; 300; 500; 1000 Н.

Твёрдость по Виккерсу, вычисленная по формуле 5, в зависимости от длины диагонали отпечатка при стандартных значениях нагрузки Р приведена в приложении ГОСТ 2999–75.

Метод Виккерса считают наиболее совершенным, он позволяет измерять твёрдость как мягких, так и самых твёрдых материалов.

3.1.4 Измерения микротвёрдости

Методы измерения микротвёрдости регламентированы ГОСТ 9450–76 и предназначены для измерения микротвёрдости изделий и образцов из металлов, сплавов, минералов, стекол, пластмасс, полупроводников, керамики, тонких листов, фольги, пленок, гальванических, диффузионных, химически осажденных и электроосажденных покрытий вдавливанием алмазных наконечников. Определение микротвёрдости (твёрдости в микроскопически малых объёмах) необходимо для тонких покрытий, отдельных структурных составляющих сплавов, а также при измерении твёрдости мелких деталей.

Стандарт устанавливает два метода испытаний: по восстановленному отпечатку (основной метод) и по невозстановленному отпечатку (дополнительный метод).

Измерение микротвёрдости методом восстановленного отпечатка состоит в нанесении на испытываемую поверхность изделия отпечатка под действием

статической нагрузки, приложенной к алмазному наконечнику в течение определенного времени. Максимальная нагрузка составляет 4,905 Н.

Число микротвёрдости определяют делением приложенной к алмазному наконечнику нормальной нагрузки в ньютонах (килограмм–силах) на условную площадь боковой поверхности отпечатка в квадратных миллиметрах.

Определение микротвёрдости вдавливанием по методу невосстановленного отпечатка заключается в нанесении на испытываемую поверхность изделия (образца) отпечатка под действием статической нагрузки, приложенной к алмазному наконечнику в течение определённого времени, с одновременным измерением глубины отпечатка.

Для четырёхгранной пирамиды с квадратным основанием число микротвёрдости обозначается HV, для трехгранной пирамиды с основанием в виде равностороннего треугольника H_{∇} , для четырехгранной пирамиды с ромбическим основанием H_{\diamond} , для бицилиндрического наконечника H_{\odot} .

Примеры условных обозначений:

Микротвёрдость, определенная четырёхгранной пирамидой с квадратным основанием при нагрузке 0,098 Н, приложенной в течение 15 с: HV 0,01.

Микротвёрдость, определённая четырёхгранной пирамидой с квадратным основанием при нагрузке 0,98 Н, приложенной в течение 30 с: HV 01/30.

Испытания по методу невосстановленного отпечатка следует проводить, когда требуются дополнительные характеристики материала (упругое восстановление, релаксация, ползучесть при нормальной температуре).

При этом методе число микротвёрдости определяют делением приложенной к алмазному наконечнику нормальной нагрузки в ньютонах на условную площадь боковой поверхности отпечатка в квадратных миллиметрах, соответствующую его измеренной глубине.

При измерении микротвёрдости применяют алмазные наконечники четырёх форм: четырёхгранную пирамиду с квадратным основанием, трехгранную пирамиду с основанием в виде равностороннего треугольника, четырехгранную пирамиду с ромбическим основанием, бицилиндрический наконечник.

Микротвёрдость определённая по высоте невосстановленного отпечатка обозначается как и микротвёрдость определённая по высоте восстановленного отпечатка с добавлением индекса h. Например микротвёрдость определённая по высоте невосстановленного отпечатка четырёхгранной пирамидой с квадратным основанием при нагрузке 0,098 Н, приложенной в течение 15 с: HV_h 0,01/15.

Число микротвёрдости находят по таблицам приложения 1 (ГОСТ 9450–76). Размеры d и l отпечатка по его измеренной глубине h определяют по таблице приложения 3 (ГОСТ 9450–76).

Нагружение следует проводить плавно, без толчков; скорость опускания алмазного наконечника не должна влиять на размеры отпечатка; продолжительность выдержки не менее 3 с.

3.1.5 Измерение твёрдости царапанием

Измерение твёрдости царапанием применяют в минералогии как качественный метод. При этом методе твёрдость определяют по шкале Мооса. Метод измерения твёрдости царапанием применяют при сравнении твёрдости образцов.

В качестве индентора при определении твёрдости царапанием используют алмазный конус с углом при вершине 90 или 120°. Этим конусом, находящимся под нагрузкой, проводят царапину на тщательно отшлифованной или отполированной поверхности образца. По ширине этой царапины при определённой нагрузке (а иногда по нагрузке при заданной ширине царапины) судят о твёрдости материала.

Ширину царапины измеряют с погрешностью до 0,001 мм.

3.2 Динамические методы

При динамическом методе определения твёрдости испытательный индентор воздействует на образец с определённой кинетической энергией, а энергия расходуется на деформацию образца (формирование отпечатка), подъём груза, а также на образование теплоты при трении, вибрации и т. д. (потери). Существует несколько способов динамического определения твёрдости: первый основан на расчете твёрдости по отпечатку; второй – на измерении высоты отдачи (отскакивания) индентора. Рассмотрим эти способы подробнее.

3.2.1 Определение твёрдости с помощью падающего груза

Шарик вдавливается в поверхность образца под действием свободно падающего груза. Для этого может быть использован маятниковый копер, в ударном молоте которого вместо ножа установлен стальной шарик. Твёрдость определяют как отношение энергии падения A к объёму V .

При испытании образец должен быть установлен перпендикулярно к направлению падения молота. Трение должно быть по возможности исключено. Этот способ целесообразно применять для измерения твёрдости при повышенных температурах, так как индентор соприкасается с нагретым образцом в течение очень малого времени и не влияет на температуру образца.

3.2.2 Определение твёрдости методом удара

Шарик вдавливается в испытуемый материал под действием силы пружины или ударом молотка (молотки Польши, Брнелля). В первом случае энергия удара постоянна, во втором – переменна. В результате удара отпечатки остаются на эталонном бруске определённой твёрдости и на образце. Твёрдость испытуемого образца определяют по соотношению диаметров обоих отпечатков. По степени точности этот метод уступает статическим.

3.2.3 Определение твёрдости методом упругой отдачи (метод Шора)

Измерение этим методом заключается в определении высоты отскока бойка, свободно падающего с постоянной высоты на поверхность образца.

Небольшой боек снабжён закругленным алмазным наконечником. При ударе бойка часть кинетической энергии расходуется на пластическое деформирование поверхности образца, часть переходит в потенциальную энергию упругой деформации. Под действием этой энергии боек отскакивает на определенную высоту, которая является показателем твердости образца. Высота отскока тем меньше, чем меньше кинетической энергии затрачено на пластическую деформацию. Твёрдость, измеренная по высоте отскока, зависит от формы, массы и высоты падения бойка, а также от массы образца. Если масса образца мала, часть кинетической энергии бойка идет на образование колебаний образца, в результате чего высота отскока бойка уменьшается.

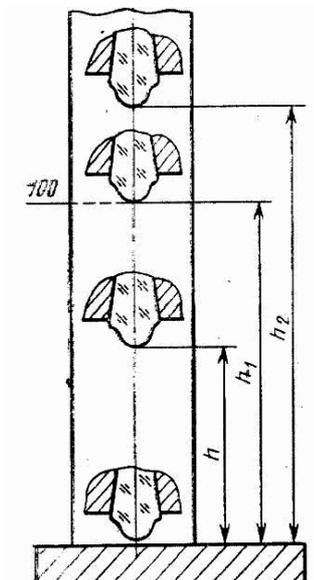


Рисунок 5 – Схема испытания на твёрдость методом упругой отдачи

Масса изделия при измерении твердомерами, установленными непосредственно на изделие, должна быть не менее 5 кг. Образцы, устанавливаемые на столик твердомера, должны иметь массу не менее 0,1 кг и толщину не менее 10 мм.

Прибор для измерения твёрдости должен обеспечивать:

- высоту отскока бойка h_1 для 100 единиц твердости по Шору ($13,6 \pm 0,3$) мм;
- высоту падения бойка h_2 ($19,0 \pm 0,5$) мм;

Поверхность испытываемого изделия или образца должна быть свободной от масла и грязи, иметь шероховатость не более $R_a = 2,5$ мкм по ГОСТ 2789–73. Поверхность столика, на которую помещают испытываемое изделие или образец, должна быть ровной, свободной от масла и грязи.

Изделия больших размеров испытывают с помощью съёмной, части прибора. Прибор устанавливают вертикально, изделие – горизонтально по уровню. Рекомендуется использовать стойку–призму для установки съёмной части прибора на изделие.

Испытанию подвергаются разнообразные металлические изделия (например, стальные и чугунные прокатные валки) и образцы различной формы.

При измерении твёрдости должны быть соблюдены следующие условия:

- горизонтальная установка изделия (образца);
- плотное прижатие колпачка прибора к испытываемой поверхности;
- скорость проведения испытания должна быть не более 5 ударов в 10 с.

Изделие или образец должны лежать на столике плотно, устойчиво, чтобы не произошло смещение во время испытания.

Расстояние между двумя соседними отпечатками и от края образца или изделия до отпечатка должно быть не менее 2 мм.

На участке изделия или образца, подлежащем определению твёрдости, должно производиться не менее пяти измерений. Среднее арифметическое результатов этих измерений принимается за твёрдость данного изделия или образца при условии, что разность между наибольшим и наименьшим числом этих показаний твёрдости не превышает 5 единиц. Если результаты измерения отличаются более чем на 5 единиц, испытание повторяют, количество отпечатков при этом удваивают.

Во время испытания прибор должен быть предохранён от воздействия ударов и вибрации.

Твёрдость по Шору обозначается индексом HSD, например, 85HSD.

Этим методом измеряют твёрдость прокатных валков, массивных поковок и других крупных изделий.

3.2.4 Акустический метод

Акустический метод основан на измерении относительных изменений механического импеданса колебательной системы преобразователя в зависимости от механических свойств поверхности образца. Акустический преобразователь представляет собой стержень из магнитострикционного материала (например, никеля), на конце которого закреплён индентор в виде алмазной призмы. К стержню прикреплён пьезоэлемент, возбуждающий в преобразователе продольные упругие колебания частотой 30–40 кГц. Стержень с индентором прижимают к контролируемому объекту с постоянной силой. При этом индентор внедряется в поверхность изделия тем глубже, чем меньше твёрдость его материала. Площадь зоны соприкосновения индентора с изделием с уменьшением твёрдости растёт, а модуль упругого сопротивления увеличивается. Изменение импеданса определяют по изменению собственной частоты нагруженного преобразователя, которую измеряют частотомером.



Рисунок 6 – Схема испытания на твердость акустическим методом

С помощью этого метода выявляются нарушения сплошности и однородности металлов и сплавов, контролируются физико-механические свойства материалов.

Акустический метод неразрушающего контроля находит свое применение в различных областях: котлонадзор, системы газоснабжения, подъемные сооружения, объекты горнорудной промышленности, объекты угольной промышленности, нефтяная и газовая промышленность, металлургическая промышленность, оборудование взрывопожароопасных и химически опасных производств, объекты железнодорожного транспорта, объекты хранения и переработки зерна. Мировой опыт показывает, что использование средств ультразвукового неразрушающего контроля в машиностроении, металлургии, энергетике, строительстве, транспортной промышленности способствует улучшению качества продукции, обеспечению безаварийной эксплуатации энергетических установок и транспортных средств, повышению производительности труда, снижению материалоемкости конструкций и сооружений, улучшению качества выпускаемой продукции, экономии сырьевых и трудовых ресурсов.

Особая роль в рационализации контроля твердости металлических изделий принадлежит портативным средствам измерений. Такие твердомеры обладают рядом неоспоримых преимуществ: экспрессность, портативность, производительность, универсальность, отсутствие заметного повреждения поверхности испытываемого изделия, возможность измерений твердости на любых по массе и форме изделиях, во всех пространственных положениях. Во многих промышленно развитых странах мира созданы и эксплуатируются десятки разновидностей портативных твердомеров как квазистатического принципа нагружения испытываемой поверхности, ударного так и акустического метода (метод ультразвукового контактного импеданса).

Далее мы расскажем о назначении, принципе работы и возможности практического применения портативного комбинированного твердомера МЕТ–УД.

4 Назначение твердомера МЕТ–УД

4.1 Твердомер МЕТ–УД (комбинированный) предназначен для измерения твёрдости металлов и сплавов по всем стандартизованным в России шкалам твёрдости – Роквелла (HRC), Бринелля (HB), Виккерса (HV) и Шора (HSD).

Калибровка твердомера по шкалам твёрдости HRC, HB, HV, HSD осуществляется предприятием-изготовителем при выпуске твердомера из производства.

В случае необходимости калибровка твердомера по шкалам твёрдости HRC, HB, HV, HSD может также проводиться и пользователем в течение межповерочного интервала (1 год).

4.2 В твердомере имеется шкала предела прочности (R_m), которая позволяет в соответствии с ГОСТ 22791–83 определять предел прочности на растяжение изделий из углеродистых сталей перлитного класса путём автоматического пересчёта со шкалы твёрдости Бринелля (HB).

4.3 В твердомере предусмотрены 3 (три) дополнительные шкалы твёрдости (H1, H2, H3), которые позволяют:

- проводить измерение твёрдости по другим шкалам (например, шкала «В» Роквелла (HRB), шкалы Супер–Роквелла (HRN и HRT) и др.);
- проводить контроль твёрдости металлов, которые существенно отличаются по свойствам от стали (чугуна, алюминиевых, медных сплавов и т.д.).

Калибровка твердомера по шкалам твёрдости (H1, H2, H3) осуществляется только предприятием-изготовителем твердомера – для этого пользователю необходимо предоставить не менее 3 (трёх) образцов материала контролируемого изделия с различной твёрдостью (минимальной, максимальной и средней).

4.4 Твердомер позволяет проводить измерение твёрдости поверхностного слоя металла, подвергнутого наплавлению, напылению, механической, термической и другим видам поверхностной обработки металла. Такой контроль твёрдости недоступен для стационарных твердомеров, которые под действием больших нагрузок "продавливают" поверхностный слой.

При использовании твердомера толщина измеряемого поверхностного слоя металла должна, по крайней мере, в десять раз превышать глубину проникновения внедряемого тела датчика (пирамиды или бойка).

4.5 Твердомер позволяет проводить экспресс-анализ твёрдости изделия непосредственно на месте эксплуатации или производства изделия в цеховых, лабораторных и полевых условиях, например в машиностроении, металлургии, энергетике, судостроении и железнодорожном транспорте, в авиакосмической и нефтегазовой отрасли, ремонтно–монтажных и сервисных организациях и т.д.

Объектами измерений могут быть сосуды давления различного назначения (реакторы, парогенераторы, коллекторы, котельные барабаны, газгольдеры и др.), роторы турбин и генераторов, трубопроводы, прокатные валки, коленчатые валы, шестерни, детали различных транспортных средств,

промышленные полуфабрикаты (отливки, поковки, листы) и т.д. (МИ 2565-99. Рекомендация. «Государственная система обеспечения единства измерений. Области использования средств измерений твёрдости, подлежащих поверке»).

4.6 Твердомер может быть применен для:

– оценки стабильности технологических процессов (обработка изделий, сварка и т.д.);

– диагностики оборудования с целью оценки его остаточного безопасного ресурса (контроль твёрдости трубопроводов, котлов и т.д.).

5 Общие указания при работе с твердомером МЕТ-УД

5.1 При работе с твердомером всегда присутствует ряд внешних факторов, влияющих на точность измерения:

- установка измерительного датчика;
- состояние измеряемой поверхности контролируемого изделия;
- гомогенность (однородность) материала контролируемого изделия;
- внешние воздействия (влажность, температура, загрязнения и т.д.).

5.2 Измеряемая поверхность и само контролируемое изделие должны соответствовать параметрам, указанным в технических характеристиках твердомера (п. 4). В противном случае нельзя гарантировать получение корректных результатов.

5.3 Наибольшей корректностью обладают результаты измерений, произведённых при следующих условиях:

- температура окружающей среды $(20 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$;
- относительная влажность воздуха $30 \div 80 \%$;
- атмосферное давление $84 \div 106 \text{ кПа}$.

5.4 При бережном использовании и при соблюдении правил эксплуатации, твердомер может исправно работать в течение многих лет, не требуя ремонта.

6 Технические характеристики твердомера МЕТ-УД

Виды шкал и их характеристика представлены в таблице 5. Технические характеристики динамического твердомера представлены в таблице 3б.

Таблица 5 – Виды шкал

Шкала	Диапазон измерений	Погрешность, не более
«С» Роквелла	20÷67 HRC	±1,5 HRC
Бринелля	75÷650 HB	±10 HB
Виккерса	75÷1000 HV	±12 HV
Шора	23 H÷102 HSD	±2 HSD
Дополнительные шкалы		
Предел прочности	378÷1736 R _m	5 %
H1, H2 и H3	по заказу	5 %

Таблица 6 – Технические характеристики динамического твердомера

Параметры твердомера	Характеристики
Пространственное положение твердомера при измерении	ЛЮБОЕ
Обработка результатов измерений, их усреднение, запись и обработка данных архива	ЕСТЬ
Энергонезависимая память – сохранение данных в архиве при выключении твердомера	ЕСТЬ
Подсветка дисплея	ЕСТЬ
Количество измерений контролируемого изделия, не менее	5
Автоматическое отключение питания, время, с	150
Время непрерывной работы с полной зарядкой аккумуляторной батареи, не менее, ч: – без подсветки – с подсветкой – от сети переменного тока	10 5 НЕ ОГРАНИЧЕНО
Время полной зарядки аккумуляторной батареи, ч	5
Электропитание твердомера: – сеть переменного тока, В – аккумуляторная батарея, В – потребляемая мощность, не более, Вт	220±22 1,2 3,0
Диапазон температур, °С: – при эксплуатации – при хранении и транспортировке	-5...+45 -40...+65

Продолжение таблицы 6

Параметры твердомера	Характеристики
Относительная влажность воздуха, %	30...80
Наличие драгоценных металлов и камней: – серебро, мЛГ – алмаз (ультразвуковой датчик У1), карат	16,8 0,07
Габаритные размеры, мм: – электронный блок (длина/ширина/высота) – датчик ультразвуковой У1 (длина/диаметр) – датчик динамический Д1 (длина/диаметр)	145/80/40 160/25 140/25
Масса твердомера, кг: – Блок + Датчик Ультразвуковой У1 – Блок + Датчик Динамический Д1 – В полной комплектации (брутто)	0,36 0,31 1,0
Количество результатов измерений в памяти (архив): – для датчика ультразвукового У1 – для датчика динамического Д1	100 100
Время одного измерения твёрдости, с: – датчиком ультразвуковым У1 – датчиком динамическим Д1	4 2
Шероховатость измеряемой поверхности R_a , мкм: – датчик ультразвуковой У1, не более – датчик динамический Д1, не более	2,5 3,2
Радиус кривизны измеряемой поверхности, мм: – датчик ультразвуковой У1, не менее – датчик динамический Д1, не менее	5 10
Масса контролируемого изделия, не менее, кг: – датчик ультразвуковой У1 – датчик динамический Д1	0,01 3
Толщина контролируемого изделия, не менее, мм: – датчик ультразвуковой У1 – датчик динамический Д1	1 12
Глубина проникновения в контролируемое изделие, в среднем, мкм: – алмазная пирамида датчика ультразвукового У1 – твердосплавный шарик датчика динамического Д1	30 300
Ресурс датчиков (минимальное количество измерений): – датчик ультразвуковой У1 – датчик динамический Д1	200000 50000
Усилие нажатия на датчик ультразвуковой У1, не менее, Н:	14,7

7 Комплектация твердомера МЕТ-УД

Комплектация твердомера представлена на рисунке 7.



1 – плечевая сумка; 2 – меры твёрдости; 3 – датчики; 4 – свидетельство о поверке; 5 – паспорт; 6 – электронный блок; 7 – зарядное устройство.

Рисунок 7 – Комплектация твердомера

8 Устройство и принцип работы твердомера МЕТ-УД

8.1 Твердомер представляет собой малогабаритный прибор для измерения твёрдости, состоящий из электронного блока с подключенным к нему датчиком. Выбор между ультразвуковым и динамическим датчиком осуществляется в зависимости от массы, конфигурации, структуры, степени механической и термической обработки измеряемого изделия. На рисунке 8 представлен портативный комбинированный твердомер типа МЕТ-УД и его составные части.

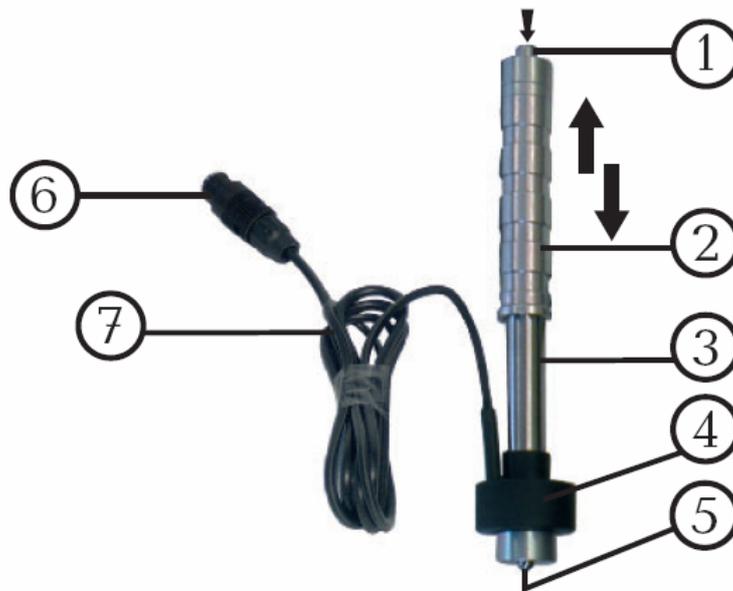


1 – электронный блок; 2 – датчик ультразвуковой У1; 3 – датчик динамический Д1.

Рисунок 8 – Твердомер портативный комбинированный МЕТ-УД

Результат измерения не зависит от пространственного положения электронного блока и датчика, даже в случае измерения на потолочной поверхности.

8.2 Датчик динамического принципа действия (метод отскока) представляет собой отдельно выполненное устройство, связанное с электронным блоком при помощи кабеля (Рисунок 9).



1 – спусковая кнопка; 2 – верхний корпус датчика; 3 – нижний корпус датчика; 4 – катушка индуктивности; 5 – боёк; 6 – штекер разъёма датчика; 7 – соединительный кабель.

Рисунок 9 – Датчик динамический Д1

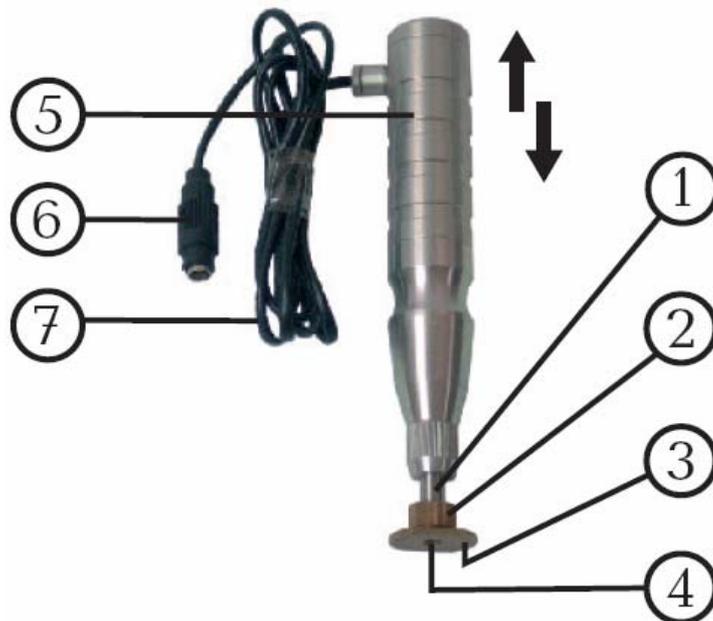
Принцип измерения твёрдости основан на определении отношения скоростей удара и отскока бойка, находящегося внутри датчика. На конце бойка расположен твердосплавный шарик, непосредственно контактирующий с контролируемой поверхностью в момент удара. Внутри бойка находится постоянный магнит. Боёк после нажатия спусковой кнопки при помощи предварительно взведенной пружины выбрасывается на измеряемую поверхность. При этом боёк перемещается внутри катушки индуктивности и своим магнитным полем наводит в ней ЭДС. Сигнал с выхода катушки индуктивности подается на вход электронного блока, где преобразуется в значение твёрдости выбранной шкалы и выводится на дисплей.

Данный метод особенно подходит для измерений твёрдости на массивных изделиях, изделиях с крупнозернистой структурой, кованных и литых изделиях.

Конструкция датчика динамического позволяет произвести большее количество измерений за единицу времени, а работа с ним не требует специальных навыков, таких как с датчиком ультразвуковым.

Ограничение: недопустимо измерение изделий массой менее 3-х кг или толщиной менее 12 мм!

8.3 Датчик ультразвукового принципа действия (метод ультразвукового контактного импеданса UCI) представляет собой отдельно выполненное устройство, связанное с электронным блоком при помощи кабеля (Рисунок 10).



1 – втулка; 2 – прижимное кольцо насадки; 3 – нижняя плоскость насадки; 4 – торец втулки; 5 – корпус датчика; 6 – штекер разъёма датчика; 7 – соединительный кабель.

Рисунок 10 – Датчик ультразвуковой У1

Датчик в основе своей использует стальной стержень с алмазной пирамидой Виккерса на конце (угол между гранями 136°), который является акустическим резонатором встроенного автогенератора ультразвуковой частоты. При внедрении пирамиды в контролируемое изделие под действием фиксированного усилия калиброванной пружины происходит изменение собственной частоты резонатора, определяемое твёрдостью материала. Относительное изменение частоты резонатора преобразуется электронным блоком в значение твёрдости выбранной шкалы и выводится на дисплей.

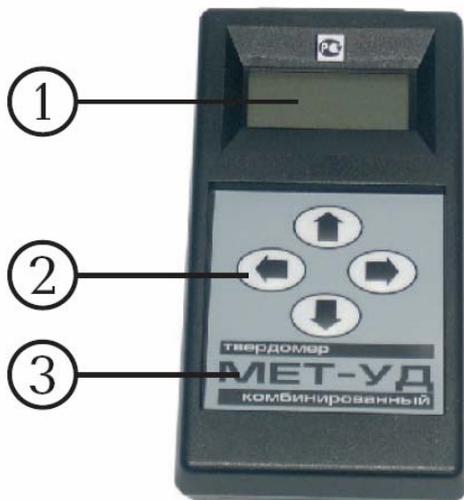
Данный метод подходит для измерений твёрдости на изделиях различной массы и толщины и, особенно, на готовых изделиях с глянцевой поверхностью, поскольку не оставляет видимых отпечатков после измерений.

Конструкция датчика ультразвукового позволяет проводить измерения в труднодоступных местах (например, поверхность зубьев шестерён и пр.), а также на тонкостенных конструкциях (например, трубопроводах и пр.), которые невозможно измерить датчиком динамическим.

Следует учитывать, что результат измерения ультразвуковым методом зависит от модуля упругости E контролируемого изделия.

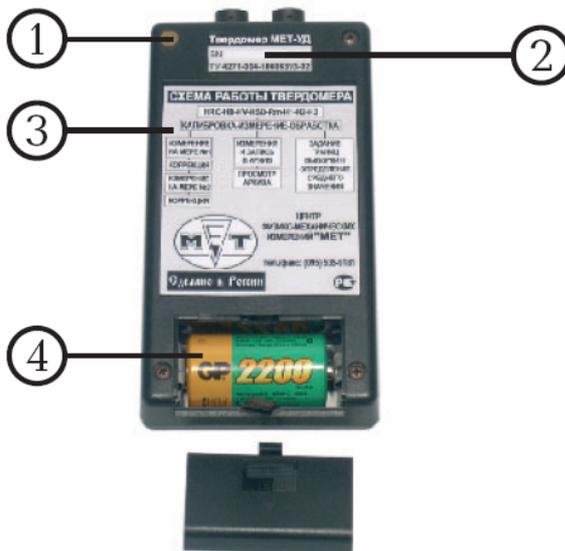
Ограничение: недопустимо измерение изделий с крупнозернистой структурой (напр. чугун) или массой менее 10 г, или толщиной менее 1 мм!

8.3 Электронный блок твердомера представляет собой отдельно выполненное устройство в пластмассовом корпусе. Изображение лицевой стороны электронного блока твердомера представлено на рисунке 11, обратной стороны электронного блока твердомера на рисунке 12, торцевой стороны электронного блока твердомера на рисунке 13.



1 – жидкокристаллический дисплей ЖКД (далее дисплей);
 2 – функциональные клавиши: (↑, ↓, ←, →), 3 – указан тип твердомера.

Рисунок 11 – Лицевая сторона электронного блока твердомера



1 – пломба; 2 – серийный номер; 3 – схема работы твердомера; 4 – закрытый отсек для аккумуляторной батареи.

Рисунок 12 – Обратная сторона электронного блока твердомера



1 – гнездо четырёхштырькового разъёма для подключения зарядного устройства или компьютера; 2 – гнездо пятиштырькового разъёма для подключения датчика.

Рисунок 13 – Торцевая сторона электронного блока твердомера

8.4 На обратной стороне электронного блока представлена схема управления работой твердомера (Рисунок 14).

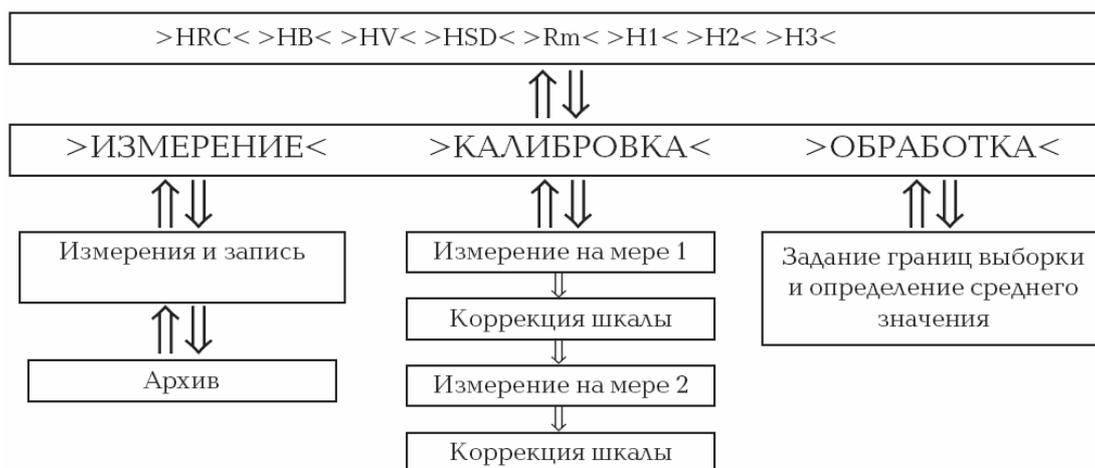


Рисунок 14 – Схема управления работой твердомера

8.5 Для управления работой твердомера использовано меню, на каждом уровне которого возможен выбор параметров или режимов работы.

Первый уровень «шкала» позволяет выбрать текущую (рабочую) шкалу твёрдости из следующего списка: HRC, HB, HV, HSD, R_m, H1, H2 или H3.

Второй уровень «измерение-калибровка-обработка» позволяет выбрать текущий (рабочий) режим твердомера: измерение, калибровка или обработка.

Третий уровень «Да/Нет» позволяет подтвердить или отменить выбранную операцию, а также последовательно вернуться к предыдущим операциям нажатием клавиши ↑.

8.6 Клавиши ↑ и ↓ позволяют выбрать уровень меню, а клавиши ← и → – выбрать параметр внутри уровня.

9 Порядок выполнения измерений твердомером МЕТ-УД

9.1 Подготовка к работе

9.1.1 Внешний осмотр

Проведите внешний осмотр прибора, убедитесь в отсутствии механических повреждений электронного блока, датчика, соединительного кабеля. Проверьте целостность пломб на электронном блоке (пластик на верхнем левом винте с обратной стороны) и датчике (краска на резьбовом соединении). Внутри датчика имеется пломба, разрушаемая при разборке датчика (вскрывается только предприятием–изготовителем!).

9.1.2 Подготовка поверхности

Подготовьте зону измеряемой поверхности изделия, удалив с неё влагу, загрязнения (масло, пыль и т.д.), смазку, окалину, окисную плёнку, ржавчину.

Зачистите шлифовальной машинкой или шкуркой и протрите ветошью поверхность в зоне измерения.

Шероховатость и радиус кривизны измеряемой поверхности, а также массогабаритные характеристики изделия должны соответствовать параметрам, указанным в технических характеристиках твердомера (п. 5).

9.1.3 Подключение датчика

Датчик подключается к электронному блоку через пятиштырьковый разъём. Штекер разъёма датчика снабжён вращающимся цилиндрическим фиксатором. Для подключения датчика выполните следующие действия:

- поверните фиксатор штекера против часовой стрелки до упора;
- совместите штекер разъёма датчика с гнездом разъёма электронного блока так, чтобы их внутренние направляющие совпали;
- вставьте штекер в гнездо до упора, слегка надавив на него;
- поверните по часовой стрелке фиксатор штекера до упора.

Характерный щелчок защёлки фиксатора подтвердит правильность осуществлённых действий. Датчик подключен к электронному блоку.

9.1.4 Включение питания:

- осуществите длительное нажатие клавиши ↓ (~ 2 с);
- после включения на дисплее кратковременно появится надпись «подключение датчика» (~ 2 с);
- электронный блок опознает тип подключённого датчика и на дисплее кратковременно появляется соответствующая надпись: «ультразвуковой датчик», либо «динамический датчик» (~ 2 с);
- после этих действий твердомер автоматически начинает работать в том режиме, в котором он работал до отключения питания.

9.1.5 Отключение питания

- происходит автоматически при отсутствии каких-либо операций с клавиатурой или датчиком (~ 150 с);
- происходит при одновременном нажатии клавиш ← и →;
- происходит при полной разрядке аккумуляторной батареи.

Благодаря автоматическому отключению питания твердомера увеличивается время его работы без дополнительной зарядки аккумуляторной батареи.

9.1.6 Подсветка дисплея

Подсветка дисплея включается и отключается кратковременным (~ 1 с) нажатием клавиши ↑ из первого уровня меню («шкала»).

Внимание! При работе с включённой подсветкой снижается время работы прибора без дополнительной зарядки аккумуляторной батареи.

9.2 Работа с электронным блоком

9.2.1 Начало работы

9.2.1.1 Выбор шкалы

1 Начните работу с первого уровня «шкала», перейдя на него нажатием клавиши ↑. В верхней части дисплея появится надпись «XXX шкала», где XXX – шкала твердости (п. 4.1; 4.2), а в правой части дисплея появится символ «батарея».

2 Выберите нужную Вам шкалу твёрдости нажатием клавиши ← или →.

3 Подтвердите выбор нужной Вам шкалы твёрдости нажатием клавиши U. После этого Вы автоматически перейдёте на второй уровень.

9.2.1.2 Выбор режима

1 Выберите нужный Вам режим измерение или калибровка или обработка нажатием клавиши ← или →;

2 Подтвердите выбор нужного Вам режима нажатием клавиши ↓. Твердомер готов к работе.

9.2.1.3 Отмена операции

Для отмены и последовательного возврата к предыдущим операциям используйте клавишу ↑.

9.2.2 Режим «Измерение»

9.2.2.1 Режим «Измерение» и все операции в нём проводятся отдельно для датчика ультразвукового У1 и датчика динамического Д1. В данном режиме Вам доступны следующие операции::

1 Архив;

2 Измерения и запись.

9.2.2.2 Операция «Архив»

Работа твердомера в режиме «Измерение» всегда начинается с операции «Архив». Индикация дисплея показана на рисунке 15.



Рисунок 15 – Индикация дисплея в режиме «Измерение»

Значения надписей и символов на дисплее:

- 1) «HV» – шкала твёрдости Виккерса;
- 2) «838» – измеренное значение по шкале твёрдости Виккерса (HV);
- 3) «Архив № 63» – порядковый номер ячейки архива, в которой хранится измеренное значение 838 по шкале твёрдости Виккерса (HV);
- 4) «батарея» – символ заряда аккумуляторной батареи.

Изменение порядкового номера ячейки архива осуществляется нажатием клавиши ← или →.

Изменение порядкового номера ячейки архива («Архив № 63») повлечёт за собой изменение показаний измеренного значения (838) на показания другого измеренного значения, сохранённого под соответствующим порядковым номером ячейки архива (№ 61; 63; 60; 64 и т.д.) Однако, шкала твёрдости (HV) останется неизменной.

Это означает, что если Вы провели измерения по шкале HRC и занесли измеренные значения в архив под №1 и №2, затем по шкале HB и занесли под №3 и №4, а просмотр архива осуществляете из шкалы HV-838 – Архив № 63, то твердомер автоматически переведёт шкалы твёрдости HRC и HB в шкалу HV и покажет значения ячеек под № 1; 2; 3 и 4 по шкале твёрдости HV.

Для просмотра архива в других шкалах твёрдости (HRC, HB и т.д.) необходимо установить нужную Вам шкалу (п. 9.2.1.1).

9.2.2.3 Операция «Измерения и запись».

Начните операцию «Измерения и запись» нажатием клавиши ↓ для завершения и выхода из операции «Архив». Индикация дисплея показана на рисунке 16.



Рисунок 16 – Индикация дисплея в режиме «Измерение»

Значения надписей и символов на дисплее:

- 1) «HB» – шкала твёрдости Бринелля;
- 2) «07» – номер текущего измерения;
- 3) «375» – измеренное значение по шкале твёрдости Бринелля (HB);
- 4) «измер. №: 01» – порядковый номер ячейки архива, который предлагается для записи измеренного значения по шкале твёрдости Бринелля (HB);
- 5) «датчик» – символ датчика;
- 6) «батарея» – символ заряда аккумуляторной батареи.

Мигающий символ «датчик» означает готовность твердомера к проведению измерений. Правила обращения с датчиком в момент проведения операции «Измерения и запись» описаны в п. 9.3. После звукового сигнала на дисплее появляется измеренное значение по шкале твёрдости, которую Вы выбрали в п. 9.2.1.1. Каждому проведённому измерению соответствует порядковый номер измерения (07) и измеренное значение (375) по шкале твёрдости (HB). Порядковый номер ячейки архива (измер. №: 01) остаётся неизменным.

Среднее значение проведённых измерений вычисляется путём нажатия клавиши ↓. Количество измерений, участвующих в определении среднего значения, показывается в порядковом номере текущего измерения (07), т.е. проведя 7 измерений и нажав клавишу ↓, Вы получите их среднее значение.

После определения среднего значения твердомер автоматически переходит к операции «Архив», чтобы Вы смогли сохранить полученный результат. Если Вы не желаете сохранять результат, а хотите продолжить измерения, то нажмите клавишу ↓ для перехода к операции «Измерения и запись».

Удаление измеренного числа твёрдости (375) в операции «Измерения и запись» производится нажатием клавиши ←. При этом номер текущего измерения (07) уменьшится на единицу. Удаление последнего результата измерений рекомендуется осуществлять в случае возникновения сомнений в корректности произведённого измерения.

Запись в архив начните с выбора номера ячейки в операции «Архив», после чего осуществите переход к операции «Измерения и запись» нажатием

клавиши ↓. Для установления значения 00 в номере текущего измерения (07) используется переход из операции «Измерения и запись» к операции «Архив» и обратно двумя нажатиями клавиши ↓. Запись в архив измеренного числа твёрдости (375) или среднего значения осуществляется нажатием клавиши →. При этом порядковый номер ячейки архива для записи измерений (измер. № 01) автоматически увеличится на единицу (измер. № 02). Рекомендуется устанавливать значение 00 в номере текущего измерения для каждой новой партии измерений. Запись в архив измеренного числа твёрдости (375) или среднего значения осуществляется нажатием клавиши →. В этом случае порядковый номер ячейки архива для записи измерений (измер. № 01) останется неизменным. Это удобно для замены содержимого ячейки архива.

9.2.3 Режим «Калибровка»

9.2.3.1 Проводится только высококвалифицированным персоналом и только в случае производственной необходимости!

Недопустимо использование эталонных мер твёрдости, срок годности которых истёк (2 года со дня последней поверки) либо поверхность которых использована более чем наполовину (ГОСТ 9031-75)! Режим «калибровка» и все операции в нём проводятся отдельно для датчика ультразвукового У1 и датчика динамического Д1.

9.2.3.2 Процесс калибровки твердомера пользователем представляет собой приведение в соответствие (равенство) усреднённого значения твёрдости эталонной меры твёрдости, измеренное твердомером и её номинального значения (выгравировано на боковой поверхности меры согласно ГОСТ 9031-75).

Калибровка твердомера пользователем по шкалам твёрдости HRC, HB, HV, HSD позволяет временно ввести поправку (коррекцию) к калибровке твердомера, установленной предприятием-изготовителем при выпуске твердомера из производства (п. 4.1).

9.2.3.3 Калибровку твердомера пользователем в межповерочный интервал рекомендуется проводить в следующих случаях:

- если при проверке твердомера на эталонной мере твёрдости показания его стабильны, но отличаются от номинала эталонной меры твёрдости;
- после длительного хранения (более 3 месяцев);
- после интенсивной эксплуатации (более 200,000 измерений для датчика ультразвукового У1 и 50,000 – для датчика динамического Д1);
- при значительном изменении условий эксплуатации (температуры, влажности и т.д.).

9.2.3.4 Для калибровки твердомера пользователем необходимы две эталонные меры твёрдости с максимальным и минимальным значениями на контролируемом участке шкалы твёрдости.

Примеры

1 Для калибровки по всей шкале «С» Роквелла необходимы две эталонные меры твёрдости со значениями (25 ± 5) HRC и (65 ± 5) HRC.

2 Если Вы используете не весь диапазон шкалы «С» Роквелла, а только диапазон 20÷40 HRC, то проведите калибровку твердомера по эталонным мерам твёрдости со значениями (25±5) HRC и (45±5) HRC.

9.2.3.5 Операция «Калибровка»

Выберите шкалу (п. 9.2.1.1) и войдите в режим «Калибровка» (п. 9.2.1.2). Введите код (находится в запечатанном конверте, вложенном в паспорт). Нажмите клавишу ↓. Индикация дисплея в режиме «Калибровка» показана на рисунке 17:



Рисунок 17 – Индикация дисплея в режиме «Калибровка»

Значение надписей и символов на дисплее:

- 1) «HRC» – шкала твёрдости Роквелла;
- 2) «02» – номер текущего измерения;
- 3) «64,2» – измеренное значение по шкале твёрдости Роквелла (HRC);
- 4) «калиб. №: 2» – номер шага калибровки;
- 5) «датчик» – мигающий символ;
- 6) «батарея» – символ заряда аккумуляторной батареи.

Измерение на мере № 1 (шаг № 1) – получение усреднённого значения числа твёрдости. Возьмите одну эталонную меру твёрдости. Проведите не менее 5 измерений! Усредните полученные значения нажатием клавиши ↓. Подтвердите окончание шага нажатием клавиши ↓.

Коррекция (шаг № 2) – приведите в соответствие (равенство) измеренное твердомером усреднённое и номинальное значения твёрдости (п. 9.2.3.2). Нажатием клавиши ← или → измените усреднённое значение на твердомере до номинального значения на эталонной мере твёрдости. Когда значения совпадут (сравниваются), нажмите клавишу – ↓.

Измерение на мере № 2 (шаг № 3) – повторите действия шага № 1.

Коррекция (шаг № 4) – повторите действия шага № 2. Нажатие клавиши ↓ – приводит к завершению шага и выходу из режима «Калибровка».

Проверка показаний твердомера после проведённой калибровки. Измерьте твёрдость меры № 1 (не менее 5 измерений) и вычислите её среднее значение. Полученное значение должно соответствовать её номинальному значению в пределах погрешности твердомера (п. 6).

Если полученное значение превышает предел погрешности твердомера (п. 6), то осуществите «Сброс калибровки» (п. 9.2.3.6) и повторно проведите операцию «Калибровка» (п. 9.2.3.5).

9.2.3.6 Операция «Сброс калибровки».

Калибровка твердомера пользователем требует навыков специалиста высокой квалификации. Если Вам повторно не удалось ввести поправку (коррекцию) к калибровке твердомера или Вы сомневаетесь в правильности произведённой операции «Калибровка», то рекомендуется осуществить операцию «Сброс калибровки». Для получения технической поддержки свяжитесь с сервисной службой предприятия-изготовителя твердомера.

Для сброса калибровочной поправки, введённой самостоятельно, выполните следующие действия:

- выберите шкалу (п. 9.2.1.1);
- войдите в режим «Калибровка» (п. 9.2.1.2);
- введите код;
- нажмите клавишу →.

После осуществления операции «Сброс калибровки» твердомер вернётся к первоначальной калибровке твердомера, установленной предприятием-изготовителем при выпуске твердомера из производства.

9.2.4 Режим «Обработка»

9.2.4.1 Режим «Обработка» и все операции в нём проводятся отдельно для датчика ультразвукового У1 и датчика динамического Д1. В данном режиме Вам доступны следующие операции:

- вычисление среднего;
- сброс архива.

Выберите шкалу (п. 9.2.1.1). Войдите в режим «Обработка» (последовательность клавиш ↓, ←, ↓). Выберите нужную Вам операцию клавишей ← или → и подтвердите выбор клавишей ↓ (Да).

9.2.4.2 Операция «Вычисление среднего»

Операция «Вычисление среднего» предназначена для вычисления среднего значения в любом интервале ячеек архива (границ выборки). Индикация дисплея показана на рисунке 18.



Рисунок 18 – Индикация дисплея в режиме «Калибровка»

Значение надписей и символов на дисплее:

- 1) «HSD» – шкала твёрдости Шора;
- 2) «96,7» – среднее значение по шкале твёрдости Шора (HSD);
- 3) «>01 сред. 07» – границы выборки;
- 4) «батарея» – символ заряда аккумуляторной батареи.

На дисплее представлен результат среднего значения твёрдости (96,7) по шкале Шора (HSD) для содержимого ячеек архива с первой по седьмую включительно (>01 сред. 07).

Задание границ и вычисление среднего значения выборки:

- нажмите клавишу ↓ для перемещения знака > или < к левой начальной (>01) или правой конечной (<07) границе выборки соответственно;
- каждое нажатие клавиши ← или → соответственно уменьшает или увеличивает левое (>01) и правое (<07) число границ выборки на единицу;
- среднее значение выборки вычисляется и выводится на дисплей автоматически («96,7»).

Операция «Вычисление среднего» не изменяет содержимое ячеек архива.

Операция «Вычисление среднего» выполняется только для заполненных ячеек в границах выборки.

9.2.4.3 Операция «Сброс архива»

Операция «Сброс архива» предназначена для удаления из памяти твердомера всего содержимого ячеек архива – т.е. обнуление всех данных.

В режиме «Обработка» нажатием клавиши ← или → выберите операцию «Сброс архива». Нажмите клавишу ↓ (Да). Появится надпись «Ждите, идёт сброс архива» и через 2 секунды архив будет удалён.

9.3 Работа с датчиком

9.3.1 Датчик динамический Д1.

9.3.1.1 Обеспечьте выполнение требований, предъявляемых к контролируемому изделию (п. 9.1.2), подсоедините датчик к электронному блоку (п. 8.1.3), включите питание твердомера (п. 9.1.4) и перейдите в режим «измерение» (п. 9.2.2.3).

9.3.1.2 В момент проведения измерений изделие должно быть неподвижно, а датчик должен быть установлен перпендикулярно к зоне измерения.

9.3.1.3 Первое измерение:

– мигание символа «датчик» на дисплее означает готовность твердомера к проведению измерения;

– установите датчик к зоне измерения поверхности контролируемого изделия. Одной рукой удерживайте катушку индуктивности (нижний корпус датчика), а другой рукой – верхний корпус датчика. Верхний корпус датчика сместите к нижнему корпусу датчика до упора, а затем отпустите. Пружина взведена, и верхняя часть корпуса датчика самостоятельно возвращается в исходное положение;

– плавно нажмите пальцем на спусковую кнопку в верхней части корпуса

датчика. Следите, чтобы датчик не колебался и был надёжно прижат к зоне измерения;

– после нажатия спусковой кнопки и удара бойка в зону измерения прозвучит звуковой сигнал и на дисплее электронного блока появится измеренное значение твёрдости. Первое измерение закончено, твердомер готов к следующему измерению.

9.3.1.4 Пробное измерение

Первое измерение рекомендуется считать пробным. Для отработки навыков работы с датчиком рекомендуется провести серию пробных измерений. После проведения пробного измерения нажмите клавишу ← для аннулирования результата и его исключения из определения среднего значения твёрдости изделия. После проведения серии пробных измерений для отработки навыков работы с датчиком можете воспользоваться операцией «Сброс архива» для аннулирования результатов проведённой серии измерений (п. 9.2.4.3).

9.3.1.5 Внимание: минимальное расстояние между точками измерений (отпечатками) должно быть не менее 3 мм. Повторные измерения в одной и той же точке не допускаются, т.к. дают завышенные показания твёрдости изделия из-за наклёпа металла в зоне отпечатка.

9.3.1.6 Приобретение навыков работы с датчиком

Приобретение навыков работы с датчиком рекомендуется осуществлять на эталонной мере твёрдости, плотно притёртой к массивной плите. Измерьте твёрдость эталонной меры (не менее 10-20 измерений) и вычислите ее среднее значение. Если полученное значение не соответствует значению эталонной меры, то проведите повторное измерение.

Если показания твердомера стабильны и полученное среднее значение соответствует номинальному значению эталонной меры в пределах погрешности твердомера (п. 6), то можно приступать к дальнейшей работе с датчиком.

9.3.1.7 В процессе работы с датчиком следите за тем, чтобы кабель (соединяющий датчик с электронным блоком) не перекручивался.

9.3.2 Датчик ультразвуковой У1.

9.3.2.1 Проверьте правильность установки опорной насадки для датчика (жёлтого цвета — далее насадка): концевой торец втулки датчика должен совпадать с нижней плоскостью насадки. Если торец выступает или заглубляется в насадку, то ее необходимо переустановить. Для этого открутите прижимное кольцо насадки, совместите нижнюю плоскость насадки и торец втулки в одной плоскости, закрутите прижимное кольцо насадки.

Проверяйте правильность установки насадки перед началом измерений!

9.3.2.2 Обеспечьте выполнение требований, предъявляемых к контролируемому изделию (п. 9.1.2), подсоедините датчик к электронному блоку (п. 9.1.3), включите питание твердомера (п. 9.1.4) и перейдите в режим «измерение» (п. 9.2.2.3).

9.3.2.3 В момент проведения измерений изделие должно быть неподвижно, а датчик установлен перпендикулярно зоне измерения. Во

избежание повреждений алмазной пирамиды избегайте резкой установки и перемещений датчика по поверхности изделия.

9.3.2.4 Первое измерение:

Схема нагружения датчика ультразвукового У1 представлена на рисунке 19.

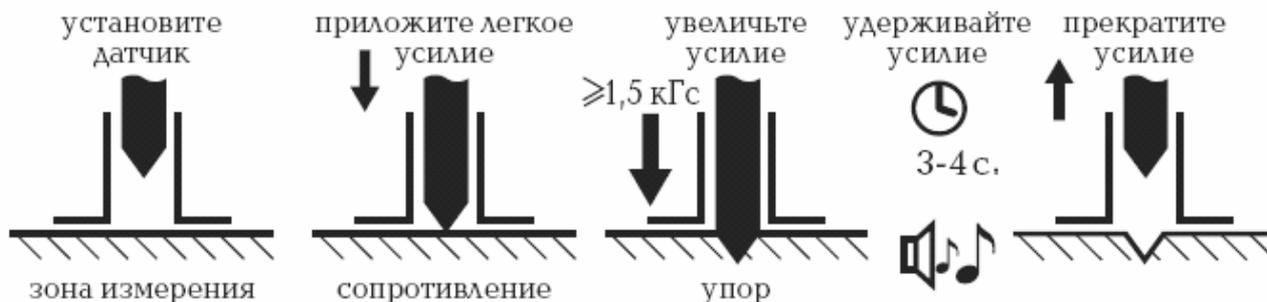


Рисунок 19 – Схема нагружения датчика ультразвукового У1

– мигание символа «датчик» на дисплее означает готовность твердомера к проведению измерения.

– установите датчик нижней плоскостью насадки к зоне измерения контролируемого изделия. Двумя пальцами одной руки прижмите насадку к зоне измерения и удерживайте её неподвижной в процессе измерения. В другую руку возьмите корпус датчика.

– лёгким усилием нажмите на корпус датчика до первого сопротивления – алмазная пирамида стержня упирается в поверхность. Сразу увеличьте усилие до второго сопротивления (упора) – алмазная пирамида внедряется в поверхность. Усилие следует прикладывать плавно, без рывков. Следите, чтобы рука не дрожала и корпус датчика не колебался. Для корректной работы датчика необходимо приложить к его корпусу усилие не менее 14,7 Н (1,5 кГс) и удерживать усилие постоянным в течение всего измерения. Не бойтесь приложить чрезмерное усилие на корпус датчика — оно будет ограничено упором.

– удерживайте постоянное усилие на корпус датчика в течение 3-4 секунд. Символ «датчик» на дисплее перестанет мигать.

– после звукового сигнала и появления значения твёрдости на дисплее электронного блока прекратите усилие на корпус датчика. Символ «датчик» на дисплее вернётся в мигающий режим, а корпус датчика под действием пружины вернётся в первоначальное положение.

Первое измерение закончено, твердомер готов к следующему измерению.

10 Методика поверки твердомеров серии МЕТ

10.1 Методика поверки устанавливает средства и методы первичной и периодической поверок твердомеров серии МЕТ.

Первичная поверка проводится на предприятии – изготовителе перед началом эксплуатации твердомера, а также после ремонта.

Процедура поверки выполняется для динамического и ультразвукового датчиков отдельно.

Периодичность поверки – один раз в год.

10.2 Операции поверки

10.2.1 Поверка проводится в соответствии с перечнем операций, приведенных в таблице 7.

10.3 Условия проведения поверки и подготовки к поверке

10.3.1 Поверка должна проводиться при следующих условиях:

- температура окружающей среды $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$;
- относительная влажность воздуха $30 \div 80 \%$;
- атмосферное давление $84 \div 106$ кПа.

Таблица 7 – Перечень операций для проведения поверки

Наименование операций	Номер пункта	Средства поверки и их нормативно-технические характеристики
Внешний осмотр	10.4.1	
Опробование	10.4.2	Эталонная мера твёрдости 2-го разряда типа МТР или МТБ по ГОСТ 9031-75
Определение абсолютной погрешности твердомера	10.4.3	Эталонные меры твёрдости 2-го разряда типа МТР, МТБ и МТБ – по ГОСТ 9031-75 и МТШ – по ГОСТ 8.426-81 25±5 HRC 450±50 HV 45±5 HRC 800±75 HV 65±5 HRC 30+7 HSD* 100±25HV 60+7 HSD* 200±50 HV 95+7 HSD* 400±50 HV

10.3.2 Рабочие поверхности эталонных мер твёрдости и инденторы датчиков должны быть чистыми и обезжиренными по ТУ ОП 64-11-120-88.

10.3.3 При поверке датчика динамического Д1 должны использоваться эталонные меры твёрдости и чугунная или стальная плита массой не менее 5 кг,

толщиной не менее 50 мм. Шероховатость поверхности плиты R_a не более 0,2 по ГОСТ 2789-73.

Эталонные меры твёрдости должны быть плотно притёрты к плите, для чего необходимо на опорную поверхность плиты нанести тонкий слой смазки ЦИАТИМ-221 по ГОСТ 9433-80 либо аналогичную смазку для обеспечения полного контакта мер с плитой.

10.3.4 Плита с эталонными мерами твёрдости должна быть горизонтально установлена на столе.

10.4 Проведение поверки

10.4.1 Внешний осмотр

10.4.1.1 При внешнем осмотре должно быть установлено соответствие заводского номера твердомера записи в паспорте, проверена комплектность. На твердомере не должно быть механических повреждений.

В случае обнаружения каких-либо несоответствий данным требованиям поверка должна быть прекращена и продолжена только после их устранения.

10.4.2 Опробирование твердомера

Опробование твердомера включает проверку функционирования клавиатуры управления, световой и цифровой индикации, проведение измерений в различных режимах. Измерения следует проводить в соответствии с п. 4.

10.4.3 Определение абсолютной погрешности твердомера

10.4.3.1 Погрешность необходимо определять только при вертикальном (сверху вниз) положении индентора.

10.4.3.2 На каждой из эталонных мер твёрдости провести по 10 измерений. Результаты усредненных значений твёрдости по каждой мере занести в протокол испытаний.

10.4.3.3 Вычислить погрешность измерений для каждой меры по формуле:

$$\delta = H_{cp} - H_m \quad (6)$$

где H_{cp} – среднее значение твёрдости, полученное при измерениях на эталонной мере;

H_m – номинальное значение твёрдости меры.

Погрешность прибора при его поверке на каждой мере не должна превышать значений, указанных в п. 6.

10.4.3.4 Если погрешность измерений твёрдости на всех эталонных мерах твёрдости не превышает значений, указанных выше, то твердомер считается пригодным для эксплуатации.

10.4.3.5 Если погрешности измерений твёрдости превышают значения, указанные в п. 4, то необходимо провести калибровку твердомера по эталонной

мере твёрдости в соответствии с п. 9.2.3. После завершения калибровки твердомера процедуру определения погрешности необходимо повторить. Если твердомер не поддается калибровке, он признается непригодным к эксплуатации.

10.5 Оформление результатов поверки

10.5.1 При положительных результатах выдается «Свидетельство о поверке» установленной формы.

10.5.2 При отрицательных результатах выдается «Извещение о непригодности» установленной формы.

11 Контрольные вопросы

1 Что понимается под твёрдостью.

2 Дайте классификацию методов измерения твёрдости.

3 Объясните сущность измерения твёрдости материалов по шкалам Роквелла, Виккерса, Бринелля, Шора.

4 Расскажите об устройстве и принципе действия твердомера МЕТ–УД.

5 Чем объясняется широкое применение способа измерения твёрдости?

6 Какие основные величины используются для измерения твёрдости?

12 Варианты для выполнения лабораторной работы

Варианты для выполнения лабораторной работы представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Варианты для выполнения лабораторной работы

Сп. № Гр. СС-1,2	Твёрдость, НВ	Сп. № Гр. СС-1,2	Твёрдость, НВ	Сп. № Гр. СС-1,2	Твёрдость, НВ
1	150	12	165	23	520
2	345	13	188	24	480
3	400	14	123	25	100
4	234	15	314	26	540
5	90	16	222	27	178
6	256	17	320	28	565
7	200	18	155	29	432
8	470	19	236	30	195
9	216	20	444	31	450
10	287	21	380	32	600
11	330	22	620	33	405

Список использованных источников

- 1 **Никитин, В. А.** Методы и средства измерений, испытаний и контроля : учебное пособие / В. А. Никитин, С. В. Бойко. – 2-е изд. перераб. и доп. – Оренбург : ИПК ГОУ ОГУ, 2007. – 462 с.
- 2 **Лахтин, Ю. М.** Материаловедение : учеб. для вузов / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева.- 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Машиностроение, 1990. – 528 с.
- 3 **Богодухов, С. И.** Испытание металлов на твердость : метод. указания к лаб. работе / С. И. Богодухов. - Оренбург : ГОУ ОГУ, 2008. – 25 с.
- 4 **Глаузнер, С. И.** Измерение массы, объема и плотности : учебное пособие / С.И. Гаузер, С.С. Кивилис, А.П. Осокина. - М. : Изд-во стандартов, 1972. – 623 с.
- 5 **Костин, П. П.** Физико-механические испытания металлов, сплавов и металлических материалов: Учеб. пособие для проф.-техн. училищ / П. П. Костин. - М. : Машиностроение, 1990. – 256 с.
- 6 ГОСТ 9012-59 Метод измерения твёрдости по Бринеллю. Введён 01.01.1960. – М. : Изд-во стандартов, 2007. – 39 с.
- 7 ГОСТ 2999-75 Метод измерения твёрдости по Виккерсу. Введён 01.07.1976. – М. : Изд-во стандартов, 1987. – 30 с.
- 8 ГОСТ 9013-59 Метод измерения твёрдости по Роквеллу. Введён 01.01.1969. – М. : Изд-во стандартов, 2001. – 8 с.
- 9 ГОСТ 22975-78 Метод измерения твёрдости по Роквеллу при малых нагрузках (по Супер-Роквеллу). Введён 01.01.1979. – М. : Изд-во стандартов, 1992. – 11 с.
- 10 ГОСТ 23677-79 Твердомеры для металлов. Общие технические требования. Введён 01.01.1981. – М. : Изд-во стандартов, 1991. – 8 с.
- 11 ГОСТ 9450-76 Измерение микротвёрдости вдавливанием алмазных наконечников. Введён 01.01.1977. – М. : Изд-во стандартов, 1993. – 34 с.
- 12 ГОСТ 23273-78 Измерение твёрдости методом упругого отскока бойка (по Шору). Введён 01.01.1980. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 3 с.

Приложение А (обязательное)

Пример отчёта по лабораторной работе

Задание: Измерить твёрдость сплава измеренного динамическим твердомером по шкале Бринелля. Найти СКО и доверительную границу НСП. По нормативно–технической документации измеряемая твёрдость сплава должна иметь значение (350 ± 10) НВ.

В ходе эксперимента получили показания динамического твердомера, представленные в таблице А.1.

Таблица А.1 – Карта измерительных наблюдений

Наблюдение	Показание прибора, НВ
1	355
2	350
3	345
4	347
5	353

Вычисляем среднее арифметическое по формуле (А.1)

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \quad (\text{А.1})$$

где x_i – текущее значение,
 n – число измерений.

$$\bar{X} = \frac{355 + 350 + 345 + 347 + 353}{5} = \frac{1750}{5} = 350 \text{ НВ};$$

Вычислим среднеквадратическое отклонение (СКО) результата наблюдения по формуле (А.2)

$$S(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (\text{А.2})$$

$$S(X) = \sqrt{\frac{(355 - 350)^2 + (350 - 350)^2 + (345 - 350)^2 + (347 - 350)^2 + (353 - 350)^2}{4}} = 4,1$$

Находим границу не исключённого остатка систематической погрешности, при числе не исключённых систематических погрешностей $N \leq 3$ по формуле (A.3):

$$\Theta = \pm \left| \sum_{i=1}^n \Theta_i \right| = \Delta_c + \Delta_{оп} + \Delta_{усл} \quad (A.3)$$

$$\Delta_c = 10 \text{ НВ}$$

$$\Delta_{оп} = 5\% \cdot 10 = 0,5 \text{ НВ}$$

$$\Delta_{усл.} = 0$$

$$\Theta(P) = 0,5 + 10 = 10,5 \text{ НВ}$$

Вычислим доверительную границу погрешности результата измерений

$$\frac{\Theta(P)}{S(x)} = \frac{10,5}{4,1} = 2,561$$

Так как 2,1 входит в интервал $[0,8; 8]$, то вычислим доверительную границу погрешности результата измерения по формуле (A.4)

$$\Delta = K_p[\Theta(P) + \epsilon(P)] \quad (A.4)$$

Находим суммарный коэффициент γ по формуле (A.5). Значения поправочного коэффициента $K(P)$ представлены в таблице A.2.

$$\gamma = \frac{\Theta(P)}{\sqrt{3} \cdot K(P) \cdot S(x)} \quad (A.5)$$

$$\gamma = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,45 \cdot 4,1} = 1,02$$

Таблица A.2 – Поправочный коэффициент

n	K(P)
5 и более	1,45
4	1,4
3	1,3
2	1,2

Определяем $K_{\Sigma(\gamma)}$ – значение коэффициента определяем по формуле (A.6)

$$K_p = K_{\Sigma(\gamma)} = \frac{\sqrt{1+\gamma^2}}{1+\gamma} \quad (\text{A.6})$$

$$K_p = K_{\Sigma(\gamma)} = \frac{\sqrt{1+1,02^2}}{1+1,02} = 0,707$$

Находим доверительную границу суммарной составляющей по формуле (A.7)

$$\epsilon(P) = Z_{p/2} \cdot S(X) \quad (\text{A.7})$$

где $Z_{p/2}$ – точка нормирования функции Лапласа, отвечающая вероятности P, т.к. P=0,95, то по таблице А.3 $Z_{p/2}=1,917$.

Таблица А.3 – Значение функции Лапласа

N	Значение $Z_{p/2}$ при P		
	0,9	0,95	0,99
3	1,412	1,414	1,414
4	1,689	1,710	1,728
5	1,869	1,917	1,972
6	1,996	2,067	2,161
7	2,093	2,182	2,310
8	2,172	2,273	2,431
9	2,237	2,349	2,532
10	2,294	2,414	2,753

$$\epsilon(P) = 1,917 \cdot 4,1 = 7,86$$

$$\Delta = 0,707 (10,5 + 7,86) = 12,98$$

Находим отношения $v_i = |x_i - x_{cp}|$

$$v_1=5; v_2=0; v_3=5; v_4=3; v_5=3$$

Т.к. $v_i < z(\pi/2) \cdot S(x)$, то ни один из результатов не является промахом.

Вывод по проведенной лабораторной работе: Результат измерений можно записать в следующей форме: $A=(350 \pm 12,98)$ НВ.