



Министерство образования
Республики Беларусь

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Сопротивление материалов
машиностроительного профиля»

ИЗМЕРЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОВ

Лабораторная работа

Минск 2010

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Сопротивление материалов
машиностроительного профиля»

ИЗМЕРЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОВ

Лабораторная работа
по дисциплине «Неразрушающий контроль качества»
для студентов специальности 1-54 01 02 «Методы и приборы
контроля качества и диагностики состояния объектов»

Минск 2010

УДК 669:620.178.1 (076.5)

ББК 30.121я7

И 37

С о с т а в и т е л и :

Ю.В. Василевич, Е.Ю. Неумержицкая

А.М. Язневич, Н.Н. Кузменко

Р е ц е н з е н т ы :

И.В. Качанов, А.Ч. Якубовский

Измерение твердости металлов: лабораторная работа по дисциплине «Неразрушающий контроль качества» для студентов специальности 1-54 01 02 «Методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов» / сост.: Ю.В. Василевич [и др.]. – Минск: БНТУ, 2010. – 46 с.

В издании изложена методика проведения лабораторной работы по измерению твердости металлов. Представлены методы измерения твердости металлов при статистических и динамических нагружениях. Включены описания и принцип работы испытательных машин и установок для измерения твердости металлов. Представлены сравнительные значения твердости, измеренные различными методами.

Изложена методика измерения твердости металлов и сплавов современным портативным твердомером МЕТ-УД.

Для студентов технических специальностей высших учебных заведений, а также для аспирантов и преподавателей.

Цель работы:

- изучить методы определения твердости металлов, устройство и принцип работы портативного комбинированного твердомера МЕТ-УД;
- получить практические навыки в определении твердости металлов.

1. Твёрдость как характеристика свойств материала

Одной из наиболее распространенных характеристик, определяющих качество металлов и сплавов, возможность их применения в различных конструкциях и при эксплуатационных условиях работы, является твердость. Понятие «твердость» широко распространено и часто применяется в повседневной жизни. Различают твердые и мягкие вещества без определения или численного выражения твердости. В технике наиболее часто это понятие определяют как сопротивление, оказываемое телом при внедрении в него другого, более твердого тела.

Испытание на твердость относится к наиболее часто используемым методам механических испытаний материалов благодаря следующим преимуществам:

1. Между твердостью пластичных металлов, определяемой способом вдавливания, и другими механическими свойствами (главным образом пределом прочности) существует количественная зависимость. Пластическая деформация металлов аналогична деформации, создаваемой в поверхностных слоях металла при измерении твердости вдавливанием индентора.

Между пределом прочности и числом твердости НВ различных металлов существует зависимость.

Сталь с твердостью НВ:

120–175 $\sigma_B \approx 0,34$ НВ,

175–450 $\sigma_B \approx 0,35$ НВ.

Медь, латунь, бронза:

отожженная $\sigma_B \approx 0,55$ НВ,

наклепанная $\sigma_B \approx 0,40$ НВ.

Алюминий и алюминиевые сплавы с твердостью НВ:
 $20-45 \sigma_B \approx (0,33 - 0,36) \text{ НВ}$.

Дуралюмин:

отожженный $\sigma_B \approx 0,36 \text{ НВ}$,

после закалки и старения $\sigma_B \approx 0,35 \text{ НВ}$.

Подобная количественная зависимость не наблюдается для хрупких материалов, которые при испытаниях на растяжение (сжатие, изгиб, кручение) разрушаются без заметной пластической деформации, а при измерении твердости получают пластическую деформацию. Однако иногда и для этих металлов (например, серых чугунов) наблюдается качественная зависимость между пределом прочности и твердостью: возрастанию твердости обычно соответствует увеличение предела прочности на сжатие. По значениям твердости можно определять и некоторые пластические свойства металлов. Твердость, определенная вдавливанием, характеризует также предел выносливости некоторых металлов, в частности меди, дуралюмина и сталей в отожженном состоянии.

2. Измерение твердости по технике выполнения значительно проще и быстрее, чем определение прочности, пластичности и вязкости. Испытания твердости не требуют изготовления специальных образцов и выполняются непосредственно на проверяемых деталях после зачистки на поверхности ровной горизонтальной площадки, а иногда даже и без такой подготовки.

3. Измерение твердости обычно не влечет за собой разрушения проверяемой детали, и после этого ее можно использовать по своему назначению.

4. Твердость можно измерять на деталях небольшой толщины, а также в очень тонких слоях, не превышающих десятых долей миллиметра, или в микрообъемах металла; в последнем случае измерения проводят способом микротвердости. Поэтому многие способы измерения твердости пригодны для оценки различных по структуре и свойствам слоев металла, например, поверхностного слоя цементованной, азотированной

или закаленной стали, имеющей разную твердость по сечению детали. Методом определения микротвердости можно также измерять твердость отдельных составляющих в сплавах.

2. Методы определения твердости

Разработано большое количество методов измерения твердости, которые обычно основываются на том, что в испытуемый материал вдавливают индентор и образующуюся при этом пластическую и (или) упругую деформацию рассматривают как меру твердости материала. Чем больше сопротивление материала пластической деформации, тем выше твердость. В результате вдавливания с достаточно большой нагрузкой поверхностные слои материала, находящиеся под наконечником и вблизи него, пластически деформируются. После снятия нагрузки остается отпечаток. Особенность происходящей при этом деформации заключается в том, что она протекает только в небольшом объеме, окруженном недеформированным материалом. В таких условиях возникают главным образом касательные напряжения, а доля растягивающих напряжений незначительна по сравнению с получаемыми при других видах механических испытаний (на растяжение, изгиб, кручение, сжатие). Поэтому при измерении твердости вдавливанием пластическую деформацию испытывают не только пластичные, но также металлы (например, чугун), которые при обычных механических испытаниях (на растяжение, сжатие, кручение, изгиб) разрушаются практически без пластической деформации.

Экспериментально твердость определяют статическими и динамическими методами. При статических методах твердость определяется вдавливанием в поверхность материала кого-либо твердого предмета-индентора, выполненного в виде стального шарика, алмазного конуса, пирамиды или иглы, деформацией которого можно пренебречь, или царапанием поверхности образца. По размерам получаемого на поверхности отпечатка судят о твердости материала.

Динамические методы основаны на нанесении отпечатка шариком при ударной нагрузке, когда твердость определяется как сопротивление материала пластическому деформированию при ударе или по отскоку от материала свободно падающего бойка или маятника с бойком. В последнем случае твердость определяется как сопротивление материала упругой и упруго-пластической деформации. Иногда используют метод определения твердости по затуханию колебаний маятника при его контакте с испытуемым материалом, по сопротивлению абразивному изнашиванию, резанию, шлифованию и др.

2.1. Методы измерения твердости при статическом нагружении

Эти методы отличаются друг от друга формой индентора (шарик, пирамида, конус), его материалом (закаленная сталь, твердый сплав, алмаз) и величиной приложенной нагрузки (измерение макротвердости, твердости при малых нагрузках и микротвердости), а также способом выражения характеристик твердости.

Определение твердости в макроскопической области, т.е. с применением больших усилий при испытании ($F > 30$ Н), приводит к получению большого отпечатка, который выбирают в качестве параметра макротвердости, характерного для структуры в целом. К испытаниям такого рода относятся способы определения твердости по Бринеллю, Виккерсу и Роквеллу. При определении микротвердости с использованием небольших и очень малых нагрузок (до 2 Н) удается получить характеристики твердости в специфических областях. Поскольку получаемые отпечатки очень малы, можно при использовании подобных методов провести локальное измерение твердости. Например, можно измерить твердость отдельных кристаллитов или включений, а также описать изменение твердости в ликвационных участках или в зоне диффузии.

2.1.1. Определение твердости по Бринеллю

При определении твердости по Бринеллю (рис. 1) шарик в течение установленного времени вдавливается с определенной силой F в испытываемый образец. В результате на поверхности образца образуется отпечаток в виде полусферы диаметром d и глубиной h . Твердость по Бринеллю НВ рассчитывают как отношение приложенной нагрузки F к поверхности A образовавшегося отпечатка (без указания размерности):

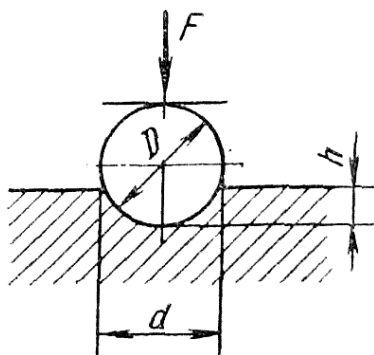


Рис. 1. Определение твердости по Бринеллю

$$\text{НВ} = 0,102F/A, \quad (1)$$

где F – приложенная нагрузка, Н;

A – поверхность сферической лунки, мм^2 . Поверхность отпечатка A (мм^2) определяют по уравнению

$$A = \pi Dh, \quad (2)$$

где D – диаметр шарика, мм; h – глубина отпечатка, мм.

С учетом введения множителя 0,102 нагрузка измеряется в Н.

Коэффициент 0,102 введен для того, чтобы величина твердости не изменилась при переводе в международную систему единиц СИ.

Однако в процессе определения твердости фиксируется не глубина внедрения шарика h , а диаметр отпечатка d . По равенству

$$h = \frac{D - (D^2 - d^2)^{1/2}}{2} \quad (3)$$

можно рассчитать глубину внедрения h и получить формулу твердости по Бринеллю НВ:

$$HB = \frac{0,102 \cdot 2 \cdot F}{\pi D \left(D - (D^2 - d^2)^{1/2} \right)}. \quad (4)$$

Используемые в качестве индентора шарики из закаленной стали или твердого сплава имеют диаметр $D = 10; 5; 2,5; 1,25$ и 1 мм. Диаметр отпечатка d должен укладываться в интервал $0,2D-0,7D$. Чтобы не выходить за эти пределы, необходимо изменять нагрузку, величину которой можно определить по табл. 1. Наряду с пределами твердости, получаемыми при различной нагрузке, в табл. 1 приведены также группы материалов, для которых наиболее предпочтительны указанные нагрузки. Испытание материалов с использованием шариков различной величины следует проводить при постоянном отношении F/D^2 .

Таблица 1

Нагрузки при определении твердости по Бринеллю

Диаметр шарика D , мм	Нагрузка F (Н) для отношения $0,102 F/D^2$				
	30	10	5	2,5	1,25
10	29 420	9800	4900	2450	1225
5	7 335	2450	1225	613	306,6
2,5	1840	613	306,5	153,2	76,6
1,25	459	153	76,3	38,2	18,6
1	294	98	49	24,5	12,25
Диапазон измерения твердости HB	67–450	22–315	11–158	6–78	3–39
	Материалы на основе железа, высокопрочные сплавы Сталь, ковкий чугун, титановые сплавы, жаропрочные сплавы на никелевой и кобальтовой основе	Легкие металлы, медь, латунь, бронза, никель	Чистый алюминий, магний, цинк	Материалы для подшипников	Свинец, олово, антифрикционные сплавы (бabbitы)

Поверхность образцов следует подготовить так, чтобы диаметр образующегося отпечатка можно было точно измерить. Образец должен иметь такую толщину, чтобы отпечаток не вызывал на обратной его стороне, контактирующей с подставкой, сколько-нибудь заметной деформации. Минимальная толщина образца s_{\min} (мм) зависит от твердости материала и условий проведения испытаний. В диапазоне измерения твердости до НВ 450 справедливо равенство

$$s_{\min} = 17 \cdot 0,102F / \pi D_{\text{НВ}}. \quad (5)$$

Расстояние между центром отпечатка и краем образца должно составлять не меньше $2,5d$ (для железа и его сплавов, меди и медных сплавов) и $3d$ для легких металлов. В противном случае возможно искажение величины твердости из-за смещения материала на краю образца. Расстояние между центрами двух соседних отпечатков для железа и его сплавов, меди и медных сплавов должно не менее чем в 4 раза, а для легких сплавов в 6 раз превышать средний диаметр отпечатка. Диаметр образующегося отпечатка следует измерять в двух взаимно перпендикулярных направлениях и определять среднее двух измерений. В анизотропных материалах размеры взаимно перпендикулярных диаметров отпечатка могут отличаться друг от друга. Используемый для определения величины твердости диаметр отпечатка должен быть рассчитан как среднее минимум двух отпечатков.

Твердость испытываемого материала не должна превышать НВ 450, поскольку в противном случае деформация шарика не позволяет провести точные измерения. Если в качестве индентора используют не закаленную сталь, а твердый сплав, то начиная с твердости, равной НВ 350, получают завышенные значения. При твердости НВ 450 максимальное отклонение составляет $\sim 2\%$, поэтому НВ 350–450 не рекомендуется использовать шариками из твердого сплава.

2.1.2. Определение твердости по Виккерсу

Определение твердости по Виккерсу осуществляют таким же образом, как и по Бринеллю. Различие заключается в том, что в качестве индентора используют алмаз, в связи с чем появляется возможность испытывать даже самые твердые материалы, используемые в технике. Кроме того, целесообразно применять в качестве индентора не шарик, а четырехгранную пирамиду с углом при вершине 136° (рис. 2). Такой же угол образуют касательные, проведенные к шарiku (или шаровому отпечатку), при испытаниях по Бринеллю, если $d = 0,375D$. Это соотношение находится в интервале, придерживаться которого целесообразно и при испытании твердости по Бринеллю; величины твердости до НВ 300, определенные по Виккерсу, совпадают с величинами твердости до НВ 300, определенными по Бринеллю.

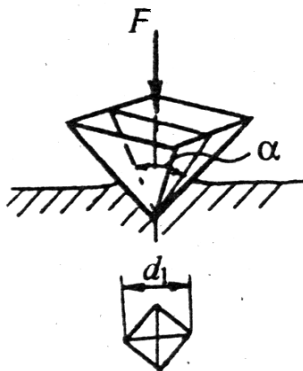


Рис. 2. Определение твердости по Виккерсу

Твердость по Виккерсу HV, как и твердость по Бринеллю, определяется отношением приложенной нагрузки F к поверхности A образующегося отпечатка и является безразмерной величиной:

$$HV = 0,102F/A, \quad (6)$$

где F – приложенная нагрузка, Н; A – поверхность отпечатка, мм^2 ;

$$A = \frac{d^2}{2 \cos 22^\circ} = \frac{d^2}{2 \sin 136^\circ / 2} = \frac{d^2}{1,854}, \quad (7)$$

где d – длина диагоналей, мм.

В результате получается выражение

$$HV = \frac{0,102F \cdot 1,854}{d^2} = \frac{0,189F}{d^2}. \quad (8)$$

Поскольку, строго говоря, поверхность отпечатка по Виккерсу часто не имеет формы квадрата, для расчета твердости используют среднее значение двух диагоналей. При определении твердости по Виккерсу приложенная нагрузка заметно меньше, чем при определении твердости по Бринеллю. Наиболее предпочтительны нагрузки 49, 98, 196, 294, 490 и 980 Н. В стандартном случае применяют нагрузку 294 Н.

Краткое обозначение складывается из следующих символов: индекса HV; величины приложенной нагрузки F в ньютонах, умноженной на коэффициент 0,102; указываемой через черточку длительностью нагружения в секундах (например, 50–20 HV). Сама величина твердости ставится перед индексом. Если нагрузка составляет 294 Н, а продолжительность ее воздействия 10–15 с, то приводят только индекс HV.

При использовании меньших нагрузок получается менее глубокий отпечаток, что позволяет применять образцы меньшей толщины и использовать этот метод для определения твердости относительно тонких поверхностных слоев.

На рис. 3 показан прибор для определения твердости по Бринеллю и Виккерсу.

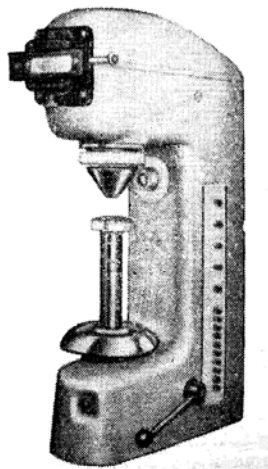


Рис. 3. Прибор для определения твердости по Бринеллю и Виккерсу

2.1.3. Определение твердости по Роквеллу

При определении твердости по Бринеллю и Виккерсу требуется измерить величину получающегося в каждом случае отпечатка и по ней рассчитать величину твердости, используя значения приложенной нагрузки. Операцию вычисления можно ускорить с помощью таблиц и других подсобных средств, однако испытания в целом остаются все еще довольно трудоемким процессом, который едва ли можно автоматизировать. Именно этим объясняется то, что метод определения твердости по Роквеллу в кратчайший срок стал наиболее часто используемым на практике.

При определении твердости по Роквеллу индентор вдавливаются в испытываемый материал и глубина вдавливания t служит мерой твердости. Определение параметра твердости сводится к определению глубины вдавливания, поэтому само испытание проводится значительно быстрее и весь процесс измерения твердости может быть автоматизирован без больших затрат.

Но если рассматривать глубину вдавливания как непосредственную характеристику твердости, то получается, что мягкие материалы благодаря большой глубине вдавливания имеют высокую твердость, а твердые материалы – соответственно низкую твердость. Но поскольку по Бринеллю и Виккерсу для твердых материалов установлены высокие, а для мягких низкие значения твердости, то при определении твердости по Роквеллу выбирают какую-либо реперную точку и полученную величину глубины вдавливания t_b вычитают из произвольно выбранной максимальной глубины вдавливания t_{\max} :

$$HR = t_{\max} - t_b. \quad (9)$$

Для того чтобы исключить влияние шероховатости поверхности и ошибок, получающихся из-за локальных повреждений или сложной конфигурации образца (в большинстве случаев

для определения глубины вдавливания используют стрелочные индикаторы), общую нагрузку прикладывают в два приема, в виде предварительной и основной нагрузок.

Принцип определения твердости по Роквеллу показан на рис. 4. В соответствии с этим принципом индентор сначала при предварительной нагрузке F_0 вдавливается в испытуемый материал на глубину t_0 . От этой реперной точки t_0 определяется уровень отсчета для измерения получающейся при определении твердости глубины вдавливания t_b . При наложении основной нагрузки F_1 в течение 2–8 с индентор вдавливается в материал на общую глубину t_1 . Продолжительность процесса вдавливания при суммарной нагрузке F_0+F_1 зависит от ползучести испытываемого материала.

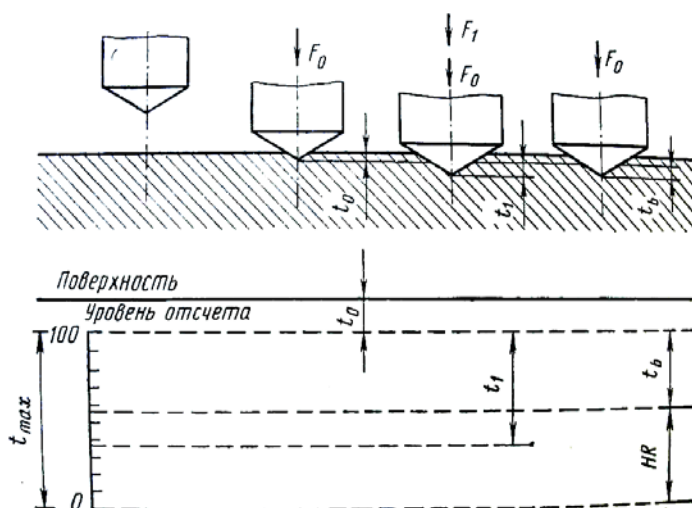


Рис. 4. Определение твердости по Роквеллу

В общем случае она составляет:

от 2 до 3 с – для материалов с не зависящей от времени пластической деформацией;

от 6 до 8 с – для материалов с зависящей от времени пластической деформацией;

от 20 до 30 с – для материалов с существенно зависящей от времени пластической деформацией.

По истечении времени вдавливания основную нагрузку F_1 снимают, измеряют полученную глубину вдавливания t_b и по ней в соответствии с формулой (9) рассчитывают твердость по Роквеллу. Большинство цифровых шкал стрелочных индикаторов, используемых для определения остаточной глубины вдавливания, рассчитано на непосредственное считывание величин твердости, так что отпадает необходимость проведения арифметических расчетов. При нанесении поля допусков на цифровую шкалу можно произвести быструю сортировку исследуемых материалов, а при соединении с электронными приборами, осуществляющими такую сортировку, процесс испытаний может быть легко автоматизирован.

Существует несколько шкал для проверки твердости, основанных на комбинации «индентор – нагрузка» (табл. 2). При измерении твердости по Роквеллу наиболее часто используют метод С. Получаемая величина твердости указывается перед индексом использованного метода, например, 47 HRC. При измерении необходимо помнить, что величина твердости должна представлять собой среднее арифметическое не менее трех отдельных измерений. При определении твердости по Роквеллу методом С расстояние между центрами двух соседних отпечатков должно быть не менее 4 мм, расстояние центра отпечатка от края образца – не менее 3 мм.

Таблица 2

Основные шкалы твердости по Роквеллу

Шкала	Индентор	Нагрузка, Н
А	Алмазный конус с углом 120° в вершине	60
В	Шарик диаметром 1/16 дюйма из карбида вольфрама (или из твердой стали)	100
С	Алмазный конус с углом 120° в вершине	150

Испытываемый материал должен иметь достаточную толщину, чтобы отпечаток не вызывал на обратной стороне образца никакой видимой деформации. Для этого толщина испытываемого образца должна быть не менее чем в 8 раз больше глубины вдавливания t_b . В общем случае поверхность образца, подвергаемая испытанию на твердость, должна быть плоской. При контроле цилиндрических образцов индентор вдавливается глубже, чем при испытании плоских образцов той же твердости, поэтому величина твердости получается заниженной.

Точный пересчет величины твердости по Роквеллу на значения твердости, полученные другими методами испытаний, невозможен. Для отдельных групп материалов получают ориентировочные результаты при тщательном проведении сравнительных исследований.

2.1.4. Определение микротвердости

Определение твердости при малой нагрузке отличается от методов определения макротвердости только величиной прикладываемой нагрузки, которая в большинстве случаев находится в пределах от 2 до 20 Н. Основная область использования этого метода – измерение твердости мелких деталей и тонких слоев (например, после цементации или азотирования стали). Кроме этого, данный способ применяют для испытания материалов с низкой твердостью (например, свинца, алюминия, олова).

Измерения твердости при малой нагрузке можно проводить на стандартных приборах для испытания твердости по Бринеллю и Виккерсу. При испытании по Бринеллю используют шарик диаметром 1 мм; необходимое при этом усилие определяют по табл. 1, а величину твердости рассчитывают по формуле (4). При испытаниях с использованием малой нагрузки в качестве индентора обычно применяют пирамиду Виккерса. Величину твердости при этом рассчитывают по

формуле (8), измеряя длину диагоналей и приложенную нагрузку. В интервале макротвердости значения HV в первом приближении не зависят от приложенной нагрузки; при усилиях же менее 10 Н величина нагрузки влияет на значения HV . Если по величинам твердости, измеренным при малой нагрузке, путем экстраполяции определять значения макротвердости, то можно сравнивать только те данные, которые были определены при одинаковой нагрузке.

При определении твердости по Кнупу в качестве индентора используют алмазную пирамиду с ромбическим основанием. Как показано на рис. 5, угол пересечения выступающих продольных ребер этой пирамиды составляет $172^{\circ}30'$, а поперечных – 130° . Благодаря этому получается отпечаток, продольная диагональ которого примерно в 7 раз больше, чем поперечная. Продольную диагональ можно измерить относительно точно. В отличие от значений твердости по Бринеллю и Виккерсу величина твердости по Кнупу H_k рассчитывается как соотношение нагрузки F к проекции поверхности отпечатка по формуле

$$H_k = 100F/7,02Sd^2. \quad (10)$$

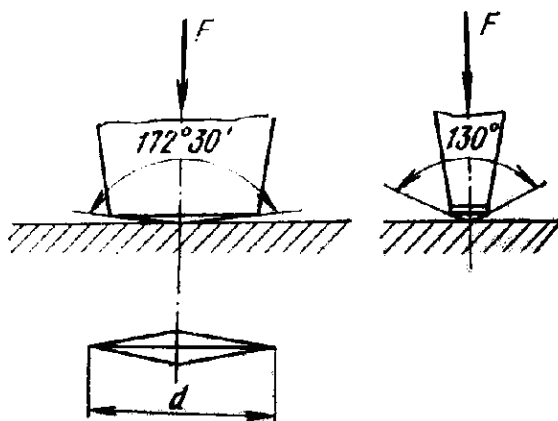


Рис. 5. Определение твердости по Кнупу

Глубина вдавливания очень маленькая ($\sim 1/30$ продольной диагонали d). Благодаря такой малой глубине вдавливания метод определения твердости по Кнупу наиболее пригоден для измерения твердости тонких слоев (например, гальванических покрытий).

Если необходимо узнать твердость отдельных структурных составляющих, то приложенную нагрузку уменьшают так, чтобы получаемый отпечаток относился только к исследуемой структурной составляющей.

Поэтому при измерении микротвердости прикладывают нагрузку в пределах от 0,002 до 2 Н, а в качестве индентора обычно применяют пирамиду Виккерса. При измерении твердости тонких поверхностных слоев толщина их должна в 10 раз превышать глубину вдавливания или в полтора раза длину продольной диагонали.

На рис. 6 показаны полученные при определении микротвердости отпечатки в двухфазном материале, каждая из фаз которого имеет различную твердость.



Рис. 6. Полученные при определении микротвердости отпечатки в двухфазном материале

*2.1.5. Сравнительные значения твердости,
измеренные различными методами*

$F = 30000 \text{ Н}$ $D = 10 \text{ мм}$ $t = 10\text{--}15 \text{ с}$		Твердость по Роквеллу			Твердость по Виккерсу, МПа	Временное сопротивление σ_b , МПа (углеродистые стали)
Диаметр отпечатка, мм	Твердость по Бринеллю, НВ	HRC	HRA	HRB		
1	2	3	4	5	6	7
2,20	780	72	89	—	12240	—
2,26	745	70	87	—	11160	—
2,30	712	68	85,5	—	10220	—
2,35	682	66	84,5	—	9410	—
2,40	653	64	83,5	—	8680	—
2,45	627	62	82,5	—	8040	—
2,50	601	60	81,0	—	7460	—
2,55	578	58	80,0	—	6940	—
2,60	555	56	79,0	—	6490	—
2,65	534	54	78,0	—	6060	—
2,70	514	52	77,0	—	6870	—
2,75	495	50	76,0	—	5510	1780
2,80	477	49	75,5	—	5340	1720
2,85	461	48	74,5	—	5020	1650
2,90	444	46	73,5	—	4730	1600
2,95	429	46	73,0	—	4500	1550
3,00	415	44	72,5	—	4350	1490
3,05	401	42	71,5	—	4120	1440
3,10	388	41	71,0	—	4010	1395
8,15	375	40	70,5	—	3900	1350
3,20	363	39	70,0	—	3800	1305
3,25	362	38	69,0	—	3610	1265
3,30	341	37	68,0	—	3440	1225
3,35	331	36	68,5	—	3350	1195
3,40	321	35	68,0	—	3200	1155
3,45	311	34	67,5	—	3120	1115
3,50	302	33	67,0	—	3050	1085
3,55	293	31	66,0	—	2910	1055
3,60	286	30	65,5	—	2850	1030

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7
3,65	277	29	65,0	—	2780	995
3,70	269	28	64,5	—	2720	970
3,75	262	27	64,0	—	2610	945
3,80	255	26	63,5	—	2550	920
3,85	248	25	63,0	—	2500	895
3,90	241	24	62,5	100	2400	870
3,95	235	23	62,0	99	2350	845
4,00	228	22	61,5	98	2260	825
4,05	223	21	61,0	97	2210	800
4,10	217	20	60,0	97	2170	780
4,15	212	19	59,5	96	2130	760
4,20	207	18	59,0	95	2090	745
4,25	202	16	58,0	94	2010	720
4,30	196	12	57	93	1970	705
4,35	192	11	—	92	1900	690
4,40	187	—	—	91	1860	675
4,45	183	—	—	96	1830	660
4,50	179	—	—	99	1770	640
4,55	174	—	—	87	1740	625
4,60	170	—	—	86	1710	610
4,65	166	—	—	85	1650	600
4,70	163	—	—	84	1620	585
4,75	159	—	—	83	1590	575
4,80	156	—	—	82	1540	56,0
4,85	153	—	—	81	1520	55,0
4,90	149	—	—	80	1490	53,5
4,95	146	—	—	78	1470	52,5
5,00	143	—	—	76	1440	51,0
5,05	140	—	—	76	—	50,0
5,10	137	—	—	75	—	49,5
5,15	134	—	—	74	—	48,6
5,20	131	—	—	72	—	47,0
6,25	128	—	—	71	—	46,25
5,30	126	—	—	69	—	45,0
5,35	124	—	—	69	—	44,0
5,40	121	—	—	67	—	43,5
5,45	118	—	—	66	—	42,5

1	2	3	4	5	6	7
5,50	116	—	—	65	—	41,75
5,55	114	—	—	64	—	41,25
5,60	112	—	—	62	—	40,5
5,65	109	—	—	61	—	39,0
5,70	107	—	—	59	—	38,5
5,75	105	—	—	68	—	38,0
5,80	103	—	—	57	—	37,0
5,85	101	—	—	56	—	36,5
5,90	99	—	—	54	—	35,5
5,95	97	—	—	53	—	35,0
6,00	96	—	—	52	—	34,5

2.2. Определение твердости при динамическом нагружении

Наряду с методами измерения твердости при статическом нагружении хорошо зарекомендовали себя такие методы, в которых индентор воздействует на испытываемую поверхность, падая с определенной высоты, и под действием ударной нагрузки. При этом твердость можно определять либо по высоте отскока индентора, либо по размеру получаемого отпечатка. На этой основе различается упругодинамический метод (определение твердости методом упругого отскока) и пластико-динамический метод (определение твердости методом удара).

Приборы для определения твердости методом удара удобны, они имеют малый размер, легко транспортируются, что позволяет доставлять их к испытываемому объекту и проводить испытания в самых разнообразных условиях (на материальном складе, на строительном или монтажном участке), а также испытывать большие заготовки и полуфабрикаты, не вырезая специальных образцов или темплетов. Вследствие меньшей точности по сравнению со статическими методами испытаний этот метод находит применение преимущественно для предварительной отсортировки материалов и проверки равномерности свойств.

2.2.1. Упругодинамический метод

Когда используемый для этих способов индентор (называемый обычно бойком) – шарик или определенной формы алмазная игла – падает с заданной высоты на поверхность испытываемого материала, он отскакивает от нее. Под действием почти остроконечного бойка материал пластически деформируется. На процесс деформации расходуется часть энергии падения, так что при отскоке боек не достигает первоначальной высоты. Высота отскока тем больше, чем меньше доля пластической деформации материала. Основной областью применения этого метода является испытание крупных заготовок на равномерность поверхностной твердости. Поскольку при соударении бойка с поверхностью, как правило, не образуется заметного отпечатка, можно проводить испытания также на окончательно обработанных методом шлифовки деталях, например, на поверхности бочек валков холодной прокатки. Если приходится сравнивать определяемые с помощью этого метода величины твердости на различных материалах, то следует учесть, что такое сравнение имеет смысл только в том случае, если материалы имеют примерно одинаковые модули упругости.

Самым известным испытательным прибором является склероскоп Шора. В качестве индентора применяют боек массой ~ 2 г с закругленной алмазной иглой. Принцип испытания представлен на рис. 7, а. Величиной твердости является высота отскока, и по шкале с произвольно нанесенными делениями в 100 единиц можно непосредственно считывать значения твердости. Поскольку испытательные приборы часто различаются по массе молоточка, форме бойка и иглы, а также по высоте падения, необходимо всегда наряду с величиной твердости, определяемой по высоте отскока, указывать используемый прибор. Разумеется, прибор такого типа можно использовать для испытаний только в том случае, если измерения проводят на горизонтальной поверхности заготовки. При использовании маятникового молота принцип отскока распро-

страняется также на испытания вертикальных поверхностей (рис. 7, б). Величина твердости в таких приборах выражается величиной угла отскока маятника. Преимущество этого способа заключается в том, что исключается неконтролируемое при падении бойка влияние трения в направляющих.

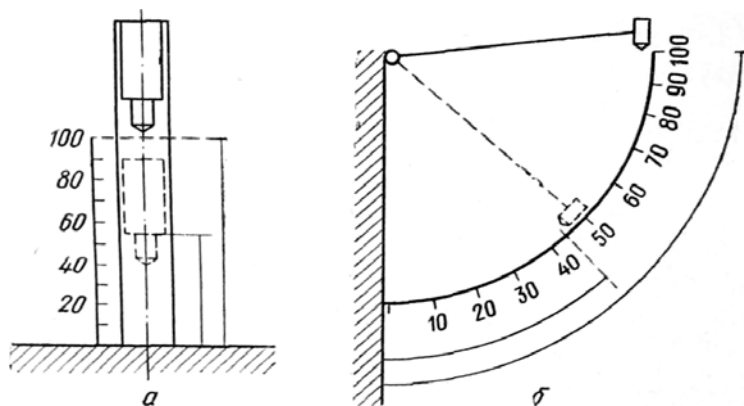


Рис. 7. Упругодинамический метод определения твердости:
а – падающий боек (склероскоп); б – маятниковый боек (склерометр)

2.2.2. Пластико-динамический метод

При проведении измерений такого типа индентор, чаще всего шарик, воздействует на испытываемый материал в условиях ударно действующей нагрузки, поэтому на поверхности материала остается отпечаток. При использовании молотка Баумана (рис. 8, а) шарик прижимается к материалу под действием пружины, а величина твердости определяется размером отпечатка. Пересчетные таблицы, полученные при многочисленных сравнительных испытаниях, позволяют выразить результаты испытаний в значениях НВ. Условия проведения испытаний – диаметр шарика (5 или 10 мм), полное или половинное натяжение пружины – зависят от твердости испытываемого материала.

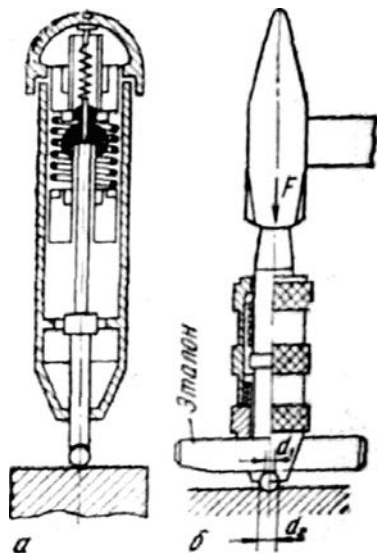


Рис. 8. Пластико-динамический метод определения твердости:
a – молоток Баумана; *б* – молоток Польди

Таким же удобным способом измерения твердости является метод Польди (рис. 8, *б*). При ударе молотком по установленному на испытываемом материале короткому цилиндрическому стержню шарик производит отпечаток в материале. Но в отличие от молотка Баумана в этом случае неизвестна величина силы, применяемая при получении отпечатка. По этой причине используется эталонный стержень с известной твердостью, в котором при ударе молотком также образуется отпечаток. По величине диаметров обоих отпечатков (d_1 в эталоне, d_2 в материале) и по известному параметру НВ эталонного стержня H_1 можно определить величину твердости исследуемого материала:

$$H_2 = H_1 \frac{D - (D^2 - d_1^2)^{1/2}}{D - (D^2 - d_2^2)^{1/2}}, \quad (11)$$

где D – диаметр шарика, мм.

При отсортировке перепутанных материалов или при предварительной разбраковке часто вполне достаточно установить, тверже или мягче испытываемый материал эталонного стержня. При этом диаметр отпечатка в материале должен быть соответственно меньше или больше. В этих случаях метод Польди вполне применим.

3. Портативный комбинированный твердомер МЕТ-УД

Твердомер портативный (далее – твердомер) предназначен для измерения твердости изделий из металлов и сплавов.

Твердомер позволяет проводить измерение твердости поверхностного слоя металла, подвергнутого наплавлению, напылению, механической, термической и другим видам поверхностной обработки металла.

В твердомере имеется 8 независимых шкал твердости. Основные шкалы измерений – шкала Роквелла (HRC), Бринелля (HB), Виккерса (HV) и Шора (HSD).

В твердомере предусмотрены три дополнительные шкалы твердости (Н1; Н2; Н3), которые позволяют:

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

Твердомер оснащен микропроцессором, который позволяет:

- удалять измеренное число твердости в случае сомнения в корректности произведенного измерения;
- вычислять среднее значение из серии проведенных измерений;
- сохранять данные в энергонезависимой памяти при выключении твердомера;
- вычислять среднее значение из данных, сохранённых в энергонезависимой памяти;

- переносить данные из энергонезависимой памяти твердомера в компьютер для дальнейшей распечатки, сохранения и обработки данных, составления графиков.

Технические характеристики твердомера

Шкала твердости	Диапазон измерений	Погрешность, не более
«С» Роквелла	20...67 HRC	±2 HRC
Бринелля	75...650 HB	±10 HB
Виккерса	75...999 HV	±15 HV
Шора	23...102 HSD	±2 HSD

Количество текущих измерений для определения среднего значения	1...99
Электропитание твердомера: <ul style="list-style-type: none"> • сеть переменного тока, В/Гц • аккумуляторная батарея, В • потребляемая мощность, не более, ВА 	90–240 В, 50–60 Гц 1,2 1,5
Габаритные размеры (длина/ширина/высота), мм: <ul style="list-style-type: none"> • электронный блок 	145/80/40
Габаритные размеры (длина/диаметр), мм: <ul style="list-style-type: none"> • датчик ультразвуковой • датчик динамический 	160/25 140/25
Масса твердомера, тма, кг: <ul style="list-style-type: none"> • электронный блок + датчик ультразвуковой • электронный блок + датчик динамический 	0,36 0,31
Время одного измерения твердости, с: <ul style="list-style-type: none"> • датчик ультразвуковой • датчик динамический 	4 4

3.1. Устройство и принцип работы твердомера

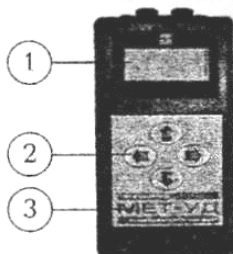
Твердомер представляет собой портативный прибор для измерения твердости, состоящий из электронного блока с подсоединенным к нему датчиком. Выбор между ультразвуковым и динамическим датчиком осуществляется в зависимости от массы, конфигурации, структуры, степени механической и термической обработки измеряемого изделия.

Твердомер портативный комбинированный МЕТ-УД:

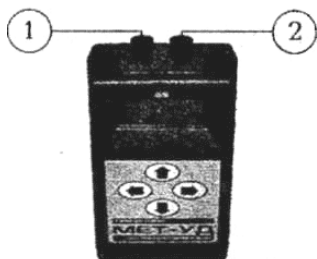
- 1 – электронный блок;
- 2 – датчик ультразвуковой;
- 3 – датчик динамический.



Электронный блок твердомера представляет собой отдельно выполненное устройство в пластмассовом корпусе:



- 1 – жидкокристаллический дисплей (далее – дисплей);
- 2 – четыре функциональные клавиши;
- 3 – тип твердомера.



- 1 – гнездо четырехштырькового разъема для подключения к блоку питания или компьютеру;
- 2 – гнездо пятиштырькового разъема для подключения датчика.

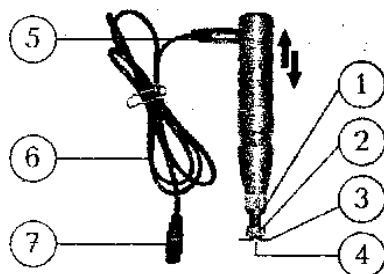
Датчик ультразвуковой (метод ультразвукового контактного им-

педанса – UCI) представляет собой отдельно выполненное устройство, связанное с электронным блоком при помощи кабеля.

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

Датчик ультразвуковой У1:

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



ОГРАНИЧЕНИЕ: недопустимо измерение материалов с крупнозернистой структурой (например чугун), массой менее 10 г или толщиной менее 1 мм!

Данный метод подходит для измерений твёрдости на изделиях различной массы и толщины и, особенно, на тонкостенных изделиях с малой массой.

Конструкция и принцип работы датчика ультразвукового позволяют проводить измерения без видимого отпечатка на поверхности изделия (ножи, шейки коленчатых валов, зеркальные поверхности цилиндров и т.д.), в труднодоступных местах (пресс-формы, поверхность зубьев шестерен, пазы,

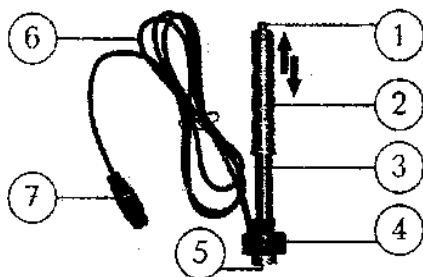
шлицы и т.д.), а также на тонкостенных конструкциях (трубопроводы, листовая металл, фольга и т.д.), которые невозможно измерить динамическим датчиком.

Датчик динамический (метод отскока) представляет собой отдельно выполненное устройство, связанное с электронным блоком при помощи кабеля.

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

Датчик динамический Д1:

- 1 – спусковая кнопка;
- 2 – верхний корпус датчика;
- 3 – нижний корпус датчика;
- 4 – катушка индуктивности;
- 5 – боек;
- 6 – соединительный кабель;
- 7 – штекер разъема электронного блока.



ОГРАНИЧЕНИЕ: недопустимо измерение изделий массой менее 3 кг или толщиной менее 12 мм!

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

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

3.2. Подготовка прибора к работе и порядок работы

Обязательным условием для проведения корректного измерения твердости изделия является обеспечение надлежащих требований к изделию и его поверхностному слою.

Факторы, влияющие на точность измерения:

– зона измеряемой поверхности изделия должна быть свободна от влаги, загрязнений (масло, пыль, жировые пятна и т.п.), смазки, окалины, окисной пленки, ржавчины и наклепа;

– толщина измеряемого поверхностного слоя металла должна в десять раз превышать глубину проникновения внедряемого тела датчика;

– расстояние между предполагаемым центром зоны измерения и краем поверхности изделия или соседнего отпечатка должно быть не менее 3,5 диаметра (длины диагонали) отпечатка;

– структура материала контролируемого изделия должна быть однородной;

– твердомер должен эксплуатироваться при отсутствии воздействия на него вибрации и ударов;

– радиус кривизны измеряемой поверхности, не менее:

• датчик ультразвуковой – 5 мм;

• датчик динамический – 10 мм;

– шероховатость измеряемой поверхности, не более, Ra:

• датчик ультразвуковой – 2,5;

• датчик динамический – 3,2;

– масса контролируемого изделия, не менее, кг:

• датчик ультразвуковой – 0,01;

• датчик динамический – 3;

– температура окружающей среды – 15...25 С;

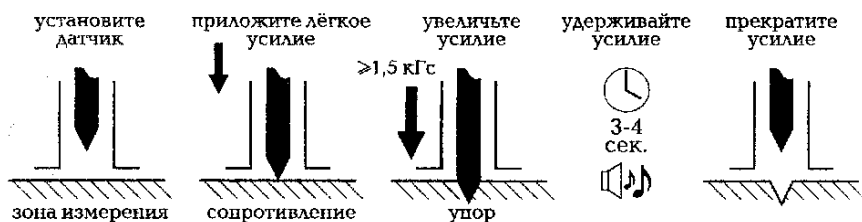
– относительная влажность воздуха – 30...80 %;

– атмосферное давление – 84...106 кПа.

Работа с ультразвуковым датчиком

В момент проведения измерений изделие должно быть неподвижно, а датчик установлен **перпендикулярно (90°)** зоне измерения. Отклонение от перпендикулярной оси может привести к некорректному результату измерения. Во избежание повреждений алмазной пирамиды избегайте резкой установки и нажатия на датчик. После нажатия на датчик любое его перемещение (сдвиг) по поверхности изделия **ЗАПРЕЩЕНО!**

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 ее неподвижной в процессе измерения. В другую руку возьмите корпус датчика.

Плавно нажмите на корпус датчика до упора – алмазная пирамида внедрится в поверхность контролируемого изделия. Усилие следует прикладывать плавно, без рывков: одним движением без остановок и замедлений. 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). Не бойтесь приложить чрезмерное усилие на корпус датчика – оно будет ограничено упором.

Удерживайте датчик в нагруженном состоянии в течение 3–4 секунд. Символ «датчик» на дисплее перестанет мигать.

После звукового сигнала и появления значения твердости на дисплее электронного блока **прекратите усилие** на корпус датчика, практически отпустив его. Символ «датчик» на дисплее вернется в мигающий режим, а корпус датчика под действием пружины – в первоначальное положение.

Первое измерение закончено (его рекомендуется считать пробным), твердомер готов к следующему измерению. 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 твердости изделия.

Работа с динамическим датчиком

В момент проведения измерений изделие должно быть неподвижно, а датчик установлен **перпендикулярно (90°)** зоне измерения. Отклонение от перпендикулярной оси может привести к некорректному результату измерения. В момент нажатия спусковой кнопки любое перемещение датчика по поверхности изделия **НЕДОПУСТИМО!**

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 – 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 надежно 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 твердости.

Первое измерение закончено (его рекомендуется считать пробным), твердомер готов к следующему измерению. 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 твердости изделия.

Внимание: минимальное расстояние между точками измерений (отпечатками) должно быть не менее 2 мм. Повторные измерения в одной и той же точке не допускаются, т.к. дают завышенные показания твердости изделия из-за наклепа металла в зоне отпечатка.

Подключение датчика

Датчик с соединительным кабелем подключается к электронному блоку через пятиштырьковый разъем, снабженный вращающимся цилиндрическим фиксатором из пластика. Для подключения выполните следующие действия:

- поверните фиксатор штекера **против часовой стрелки** до упора;
- **совместите пятиштырьковый штекер** соединительного кабеля с гнездом разъема 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 защелки фиксатора подтвердит правильность осуществлённых действий.

Датчик подключен к электронному блоку.

Отключение датчика производится в обратной последовательности.

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.

Выбор шкалы

Начните работу с первого уровня «**шкала**», перейдя на него нажатием клавиши ↑. В верхней части дисплея появится надпись «XXX **шкала**», где XXX — шкала твердости, а в правой части дисплея появится символ «батарея».

Выберите нужную Вам шкалу твердости нажатием клавиши ← или →.

Подтвердите выбор нужной Вам шкалы твердости нажатием клавиши ↓, после чего автоматически перейдете на второй уровень.

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

Выбор режима

Выберите нужный Вам режим (**измерение, калибровка** или **обработка**) нажатием клавиши ← или →.

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

Режим «Измерение»

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

- **Архив;**
- **Измерения и запись.**

Операция «Архив»

Работа твердомера в режиме «Измерение» всегда начинается с операции «Архив». Индикация дисплея (как случайно возможный пример!) показана на рисунке:



Значения надписей и символов на дисплее:

- **HV** – шкала твёрдости Виккерса;
- **838** – измеренное значение по шкале твердости Виккерса (HV);
- **Архив № 63** – порядковый номер ячейки архива, в которой хранится измеренное значение 838 по шкале твердости Виккерса (HV);
- **батарея** – символ заряда аккумуляторной батареи.

Перевод измеренного значения из одной шкалы твёрдости в другую шкалу:

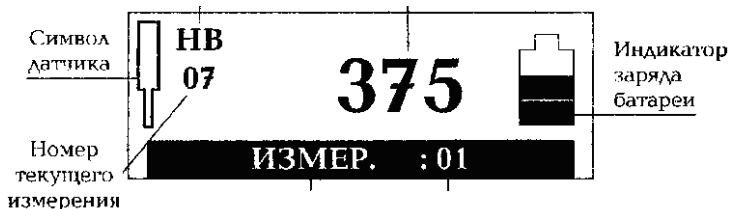
- выберите нужную шкалу твердости;
- перейдите к операции «Архив»;
- нажатием клавиши ← или → просмотрите архив;

- все значения, измеренные ранее в других шкалах твердости и сохраненные в архиве, будут автоматически переведены в выбранную Вами шкалу твердости.

Внимание! Перевод значений из одной шкалы твердости в другую имеет погрешность.

Операция «Измерения и запись»

Начните операцию «Измерения и запись» нажатием клавиши ↓ для завершения и выхода из операции «Архив». Индикация дисплея (как случайно возможный пример!) показана на рисунке:



Значения надписей и символов на дисплее:

- **HB** – шкала твердости Бринелля;
- **07** – номер текущего измерения;
- **375** – измеренное значение по шкале твердости Бринелля (HB);
- **измер.№:01** – порядковый номер ячейки архива, который предлагается для записи измеренного значения по шкале твердости Бринелля (HB);
- **датчик** – символ датчика;
- **батарея** – символ заряда аккумуляторной батареи.

Мигающий символ «датчик» означает готовность твердомера к проведению измерений. Каждому проведенному измерению соответствует порядковый номер измерения (07) и изме-

ренное значение (375) по шкале твердости (НВ). Порядковый номер ячейки архива (измер.№:01) остается неизменным.

Среднее значение из серии проведенных измерений вычисляется путем нажатия клавиши ↓. Количество измерений, участвующих в определении среднего значения, показывается в порядковом номере 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 могли 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 твердости (375) в операции «Измерения и запись» производится нажатием клавиши ←. При этом действии измеренное число твердости (375) останется на дисплее, однако номер текущего измерения (07) уменьшится на единицу – это означает удаление последнего результата (375) из памяти серии проведенных измерений. Удаление последнего результата измерений рекомендуется осуществлять в случае возникновения сомнений в корректности произведенного 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 твердости (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 твердости (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.

Режим «Обработка»

Режим «Обработка» и все операции в нем проводятся отдельно для датчика ультразвукового У1 и датчика динамического Д1.

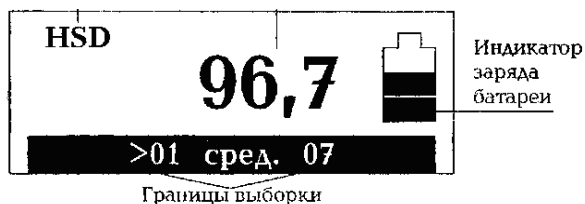
В данном режиме доступны следующие операции:

- **Вычисление среднего;**
- **Сброс архива.**

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

Операция «Вычисление среднего»

Операция «Вычисление среднего» предназначена для вычисления среднего значения в любом интервале ячеек архива (границы выборки). Пример индикации дисплея показан на рисунке:



Значение надписей и символов на дисплее:

- **HSD** – шкала твердости Шора;
 - **96,7** – среднее значение по шкале твердости Шора (HSD);
 - **>01 сред. 07** – границы выборки;
- батарея – символ заряда аккумуляторной батареи.

На дисплее представлен результат среднего значения твердости (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 дисплее автоматически («96,7»).

Операция «Вычисление среднего» не изменяет содержимое ячеек архива, выполняется только для заполненных ячеек в границах выборки.

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, идет сброс архива» и через 2 с архив будет удален.

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.

3.3. Последовательность выполнения операций при измерении твердости металлов

Обязательным условием для проведения корректного измерения твердости изделия является обеспечение надлежащих требований к изделию и его поверхностному слою.

Убедитесь: что

– зона измеряемой поверхности изделия свободна от влаги, загрязнений (масло, пыль, жировые пятна и т.п.), смазки, окислы, окисной пленки, ржавчины и наклепа;

– толщина измеряемого поверхностного слоя металла минимум в десять раз превышает глубину проникновения внедряемого тела датчика;

– масса контролируемого изделия, не менее, кг:

- датчик ультразвуковой – 0,01;
- датчик динамический – 3.

Твердомер должен эксплуатироваться при отсутствии воздействия на него вибрации и ударов.

1. Подключите датчик

Датчик с соединительным кабелем подключается к электронному блоку через пятиштырьковый разъем, снабженный вращающимся цилиндрическим фиксатором из пластика. Для подключения выполните следующие действия:

• поверните фиксатор штекера **против часовой стрелки** до упора;

• **совместите пятиштырьковый штекер** соединительного кабеля с гнездом разъема 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 защелки фиксатора подтвердит правильность осуществленных действий.

Датчик подключен к электронному блоку.

Отключение датчика производится в обратной последовательности.

2. Включите питание

Осуществите длительное **нажатие** клавиши ↓ (~2 с).

После включения на дисплее кратковременно появится надпись «подключение датчика».

Электронный блок опознает тип подключенного датчика и на дисплее кратковременно появляется соответствующая надпись: «ультразвуковой датчик» либо «динамический датчик».

3. Выберите шкалу

Начните работу с первого уровня «**шкала**», перейдя на него нажатием клавиши ↑. В верхней части дисплея появится надпись «**XXX шкала**».

Выберите шкалу твёрдости НВ нажатием клавиши ← или →.

Подтвердите выбор шкалы твёрдости нажатием клавиши ↓.

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

4. Выберите режим «Измерение»

Выберите режим «**Измерение**» нажатием клавиши ← или →.

Подтвердите выбор режима нажатием клавиши ↓. Твердомер готов к работе.

Работа твердомера в режиме «измерение» всегда начинается с операции «Архив».

Выберите операцию «Измерения и запись» нажатием клавиши ↓ для завершения и выхода из операции «Архив».

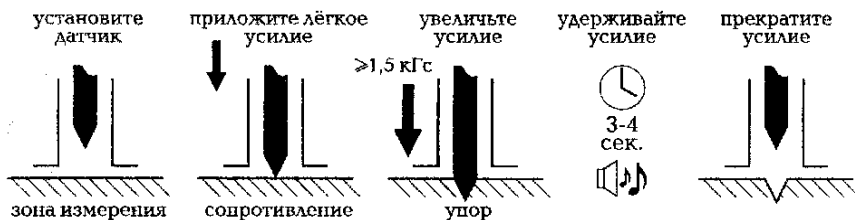
Мигающий символ «датчик» означает готовность твердомера к проведению измерений.

5. Измерьте твердость образца ультразвуковым датчиком

В момент проведения измерений изделие должно быть неподвижно, а датчик установлен **перпендикулярно (90°)** зоне измерения. Во избежание повреждений алмазной пирамиды избегайте резкой установки и нажатия на датчик. После

нажатия на датчик любое его перемещение (сдвиг) по поверхности изделия **ЗАПРЕЩЕНО!**

Схема нагружения датчика ультразвукового У1



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

Плавное нажмите на корпус датчика до упора — алмазная пирамида внедрится в поверхность контролируемого изделия. Усилие следует прикладывать плавно, без рывков: одним движением без остановок и замедлений. Следите, чтобы рука не дрожала и корпус датчика не колебался.

Удерживайте датчик в нагруженном состоянии в течение **3–4 секунд**. Символ «датчик» на дисплее перестанет мигать.

После звукового сигнала и появления значения твердости на дисплее электронного блока **прекратите усилие** на корпус датчика, практически отпустив его. Символ «датчик» на дисплее вернется в мигающий режим, а корпус датчика под действием пружины вернется в первоначальное положение.

Первое измерение закончено, твердомер готов к следующему измерению.

6. Вычислите среднее значение измерений

Среднее значение из серии проведенных измерений вычисляется путем нажатия клавиши ↓. Количество измерений, участвующих в определении среднего значения, показывается в

порядковом номере измерения (например, 07), т.е. проведя 7 измерений и нажав клавишу ↓, получается их среднее значение.

После определения среднего значения твердомер автоматически переходит к операции «Архив», чтобы сохранить полученный результат.

Запись в архив измеренного числа твердости или среднего значения осуществляется нажатием клавиши →. При этом порядковый номер ячейки архива для записи измерений автоматически увеличится на единицу.

Если не желаете сохранять результат, а хотите продолжить измерения, то нажмите клавишу ↓ для перехода к операции «Измерения и запись».

7. Измерьте твердость образца динамическим датчиком

В момент проведения измерений изделие должно быть неподвижно, а датчик установлен **перпендикулярно (90°)** зоне измерения. В момент нажатия спусковой кнопки любое перемещение датчика по поверхности изделия **НЕДОПУСТИМО!**

Установите датчик к зоне измерения поверхности контролируемого изделия. Одной рукой удерживайте катушку индуктивности (нижний корпус датчика), а другой – верхний корпус датчика. Верхний корпус датчика сместите к нижнему корпусу 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. Сведите, чтобы датчик не колебался и был надежно 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 твердости. Первое измерение закончено, твердомер готов к следующему измерению.

8. Выполните п. 6 для динамического датчика

9. Выберите режим «Обработка»

Выверите шкалу твердости НВ. Войдите в режим «Обработка» (последовательность клавиш ↓ ← ↓). Выберите **операцию «Вычисление среднего»** клавишей ← или → и подтвердите выбор клавишей ↓ (Да).

Операции «Вычисление среднего» предназначена для вычисления среднего значения в любом интервале ячеек архива (границ выборки).

Нажмите клавишу ↓ для перемещения знака > или < к левой начальной или правой конечной границе выборки соответственно.

Каждое нажатие клавиши ← или → соответственно уменьшает или увеличивает левое и правое число границ выборки на единицу.

Среднее значение выборки вычисляется и выводится на дисплее автоматически.

Перейдите к операции «Сброс архива».

Операция «Сброс архива» предназначена для удаления из памяти твердомера ВСЕГО содержимого ячеек архива, т.е. обнуление ВСЕХ данных.

Выберите операцию «Сброс архива».

Нажмите клавишу ↓ (Да). Появится надпись «Ждите, идет сброс архива» и через 2 с архив будет удалён.

10. Отключите питание

Нажмите одновременно клавиши ← и →.

Происходит автоматически при отсутствии каких-либо операций с клавиатурой или датчиком (~150 с);

Происходит при полной разрядке аккумуляторной батареи.

4. Порядок выполнения лабораторной работы

1. Ознакомьтесь с методикой по эксплуатации портативного комбинированного твердомера МЕТ-УД.

2. Проверьте готовность прибора к проведению измерений твердости.

3. Измерьте твердость образцов по шкалам твердости НВ, НV, HRC, HSD. Проведите по пять замеров твердости для каждого образца.

4. Вычислите среднее значение твердости по каждой из шкал.

6. Запишите результаты в таблицу.

7. Подключите прибор к компьютеру и сохраните полученные результаты.

№ меры (образца)	Шкала твердости	№ измерения	Результат измерения	Среднее значение

Содержание

1. Твердость как характеристика свойств материала.....	3
2. Методы определения твердости.....	5
2.1. Методы измерения твердости при статическом нагружении.....	6
2.1.1. Определение твердости по Бринеллю.....	7
2.1.2. Определение твердости по Виккерсу.....	10
2.1.3. Определение твердости по Роквеллу.....	12
2.1.4. Определение микротвердости.....	15
2.1.5. Сравнительные значения твердости, измеренные различными методами.....	18
2.2. Определение твердости при динамическом нагружении.....	20
2.2.1. Упругодинамический метод.....	21
2.2.2. Пластико-динамический метод.....	22
3. Портативный комбинированный твердомер МЕТ-УД.....	24
3.1. Устройство и принцип работы твердомера.....	25
3.2. Подготовка прибора к работе и порядок работы.....	29
3.3. Последовательность выполнения операций при измерении твердости металлов.....	38
4. Порядок выполнения лабораторной работы.....	43

Учебное издание

ИЗМЕРЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОВ

Лабораторная работа
по дисциплине «Неразрушающий контроль качества»
для студентов специальности 1-54 01 02 «Методы и приборы контроля
качества и диагностики состояния объектов»

С о с т а в и т е л и :

ВАСИЛЕВИЧ Юрий Владимирович
НЕУМЕРЖИЦКАЯ Елена Юрьевна
ЯЗНЕВИЧ Алексей Михайлович
КУЗМЕНКО Наталья Николаевна

Редактор Л.Н. Шалаева
Компьютерная верстка Д.К. Измайлович

Подписано в печать 20.03.2010.

Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 2,67. Уч.-изд. л. 2,09. Тираж 100. Заказ 707.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.

Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.