

Методика проведения новой лабораторной работы "ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ" по курсу "Сопротивление материалов" с использованием современного испытательного оборудования

08, август 2015

Компаниец И. В.^{1,*}

УДК: 372.862

¹Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

^{*}igor.komp.s@yandex.ru

Создана новая лабораторная работа по определению твердости с использованием современного твердомера Ernst Hardness Tester AT 200 DR.

Спецификой данной лабораторной работы является небольшое время проведения эксперимента, большее количество времени посвящено ознакомлению с краткими теоретическими сведениями, описанию основных методов измерения твердости.

Обращается внимание, что наряду с ГОСТами на механические испытания металлов существуют международные и национальные стандарты, применяемые при механических испытаниях. Ознакомиться с названиями некоторых из них можно по ссылке [6].

Ниже приводится описание лабораторной работы и образец оформления страниц журнала лабораторных занятий по курсу "Сопротивление материалов".

Новым является и обязательная демонстрация испытательного оборудования в самом начале проведения лабораторной работы.

Описание лабораторной работы Работа № 15. Определение твёрдости

Цель работы

Определения твёрдости металлического образца. Ознакомление с различными методами определения твёрдости.

Характеристика лабораторной установки

Для определения твёрдости материалов применяются испытательные установки различных систем при условии их соответствия современным нормативным документам.

Твердомер АТ 200 DR – полуавтоматическая установка, работающая в соответствии с методом Роквелла с нагрузками испытания от 588 до 1839 Н (60 – 187,5 кгс).

Измерения твёрдости могут проводиться в соответствии с различными стандартами.

Твердомер АТ 200 DR предназначен для измерений твёрдости металлов и сплавов.

Электронный блок имеет функциональную и числовую клавиатуры. Результаты испытаний выводятся на цифровом дисплее. Предусмотрена возможность подключения компьютера и принтера.

Возможна распечатка результатов испытаний на одном из пяти языков, причём эта распечатка может быть использована как сертификат с датой и временем.

Характеристика лабораторной установки составлена по материалам [8].

Краткие теоретические сведения (описаны в книге [1])

Твёрдостью называется способность материала сопротивляться внедрению в него другого, не получающего остаточных деформаций тела.

Определение твёрдости деталей, работающих в качестве режущего инструмента или находящихся в условиях контактных напряжений, имеет особо важное практическое значение.

Определение твёрдости может производиться различными способами, основанными на одном из следующих принципов:

- 1) измерение величины отпечатка, полученного при вдавливании в поверхностный слой испытуемого материала твёрдого тела;
- 2) измерение ширины царапины, полученной при царапании поверхности испытуемого материала твёрдым остриём;
- 3) измерение высоты отскакивания твёрдого упругого тела, падающего на поверхность испытуемого материала.

В данной лабораторной работе рассматриваются способы определения твёрдости по первому принципу.

Порядок выполнения работы

В аудитории

1. Ознакомить с основными методами испытания на твёрдость; с правилами записи числовых значений твёрдости при использовании методов: Роквелла, Роквелла при малых нагрузках (по Супер – Роквеллу), Бринелля, Виккерса; обратить внимание, что наряду с ГОСТами на механические испытания металлов существуют международные и национальные стандарты, применяемые при механических испытаниях. (Ознакомиться с названиями некоторых из них можно по ссылке [6]). В данном описании, используются сведения не только из ГОСТов, но и часть сведений из [7].

Метод измерения твёрдости по Роквеллу

Требования к отбору образцов, аппаратуре, измерению твёрдости, содержанию протокола испытаний приведены в ГОСТ 9013 – 59 [3].

Сущность метода

Сущность метода заключается во внедрении в поверхность образца (или изделия) алмазного конусного (шкалы А, С, D) или стального сферического наконечника (шкалы В, Е, F, G, Н, К) под действием последовательно прилагаемых предварительного F_0 и основного F_1 усилий и в определении глубины внедрения наконечника после снятия основного усилия (F_1) [3].

Для лучшего понимания, различные шаги метода Роквелла иллюстрированы и пронумерованы на рис.1, показывающем циферблатный индикатор, который регистрирует перемещения наконечника [7].

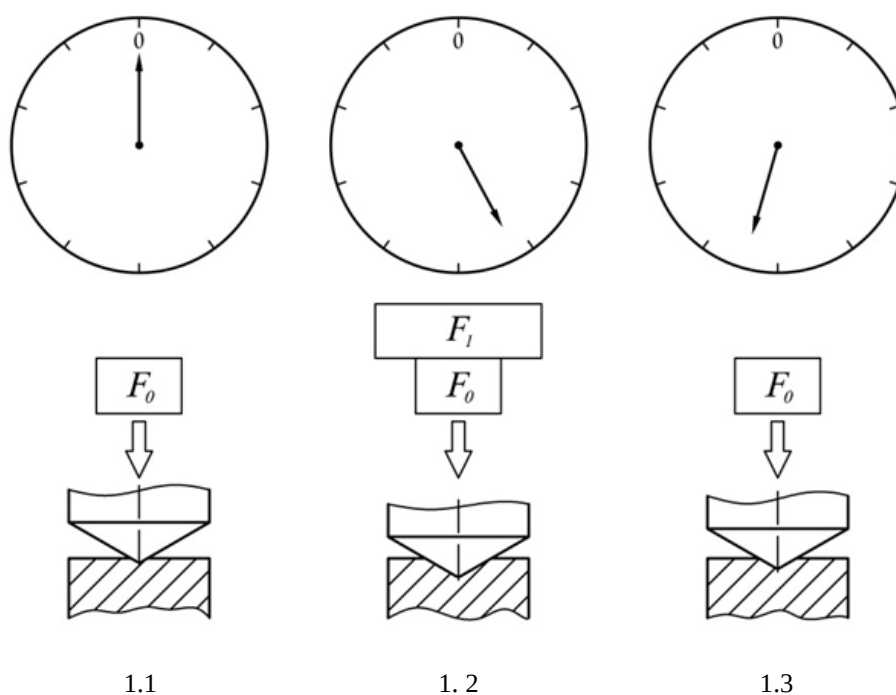


Рисунок 1. Иллюстрация метода Роквелла [7].

1.1. Сначала прикладывается предварительное усилие испытания F_0 , обуславливая незначительную глубину внедрения; после этого циферблатный индикатор должен быть переустановлен на нуль [7].

1.2. Постепенно и избегая любое импульсное воздействие, прикладывается основное усилие испытания F_1 чтобы достичь требуемого усилия испытания (F). При этой приложенной силе, наконечник внедряется в соответствии с твёрдостью самого материала.

Нужно подождать, пока внедрение завершится. Циферблатный индикатор показывает перемещение наконечника [7].

1.3 . Основное усилие испытания F_1 может быть снято, при этом происходит возвращение в состояние предварительного усилия; таким образом, наконечник остаётся в отпечатке, но все упругие деформации, вызванные приложением основного усилия, будут исключены. Циферблатный индикатор покажет разницу внедрения между предварительным усилием и усилием испытания [7].

В общепринятом методе Роквелла используется только один алмазный конусный наконечник, имеющий угол при вершине 120° и радиус сферической части 0.2 мм (на конце алмаза) и стальные сферические наконечники следующих диаметров: $\varnothing 1,588$ мм, $\varnothing 3,175$ мм.

На рис. 2 показан профиль алмазного конусного наконечника.

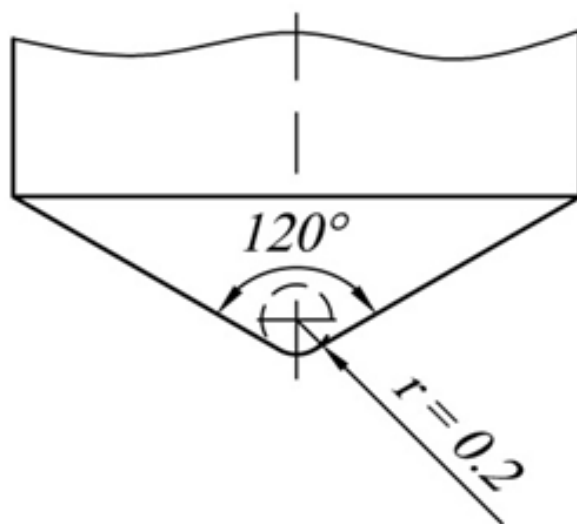


Рисунок 2. Профиль алмазного конусного наконечника.

Комбинируя различные наконечники, можно получить широкий диапазон шкал твёрдости, как показано в таблицах ниже.

Таблица 1 – Шкалы общепринятого метода Роквелла по данным [3] и [7].

Общее усилие, Н (кгс)	Шкала HR		
1471 (150)	C	G	K
980,7 (100)	D	B	E
588,4 (60)	A	F	H
Наконечник	алмазный конусный	шариковый стальной	
		шарик, $\varnothing 1,588$ мм	шарик, $\varnothing 3,175$ мм

Таблица 2 – Шкалы общепринятого метода Роквелла по данным [3].

Шкала твёр- дости	Обозначение единицы из- мерения	Предварительное усилие F_0	Основное усилие F_1	Общее усилие F	Диапазон измерений, ед. твёрдости
		Н (кгс)			
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	HRD	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

Единица измерения глубины внедрения наконечника в общепринятом методе Роквелла соответствует глубине внедрения наконечника 0,002 мм. после снятия основного усилия [7].

Числовое значение твёрдости должно расти в соответствии с твёрдостью, в то время как разница глубин внедрения между предварительным усилием и **общим усилием уменьшается, так как твёрдость увеличивается** [7].

Числовое значение твёрдости по методу Роквелла получается вычитанием из 100 (при применении алмазного наконечника) или из 130 (при применении шарикового наконечника) разницы глубин внедрения, выраженной в количестве единиц 0,002 мм. [7]).

Числовое значение твёрдости, рассчитанное в результате испытания выводится на цифровом дисплее .

Пример: При использовании алмазного наконечника и разницей глубин внедрения 0,082 мм, числовое значение твёрдости по методу Роквелла рассчитывается так: $100 - (0,082/0,002) = 59$ единиц твёрдости по Роквеллу.

Наоборот, при использовании шарикового наконечника и такой же разницей глубин внедрения, число твёрдости по методу Роквелла будет другим: $130 - (0,082/0,002) = 89$ единиц твёрдости по Роквеллу [7].

Обозначение твёрдости по Роквеллу

Твёрдость по Роквеллу обозначают символом HR с указанием шкалы твёрдости, которому предшествует числовое значение твёрдости из трёх значащих цифр. Например, 61,5 HRC – твёрдость по Роквеллу 61,5 единиц по шкале C (как описано в ГОСТ 9013 – 59 [3]).

Метод измерения твёрдости по Роквеллу при малых нагрузках (по супер – Роквеллу)

Требования к отбору образцов, аппаратуре, измерению твёрдости, содержанию протокола испытаний приведены в ГОСТ 22975 – 78 [5].

Сущность метода

Сущность метода заключается во внедрении в поверхность образца (или изделия) алмазного конусного (шкала N) или стального сферического наконечника (шкала T) под действием последовательно прилагаемых предварительного F_0 и основного F_1 усилий и в определении глубины внедрения наконечника после снятия основного усилия (F_1).

Таблица 3 – Шкалы метода Роквелла при малых нагрузках по данным [5] и [7].

Общее усилие, Н (кгс)	Шкала HR	
441,3 (45)	N 45	T 45
294,2 (30)	N 30	T 30
147,1 (15)	N 15	T 15
Наконечник	алмазный конусный	шариковый стальной; шарик, $\varnothing 1,588$ мм

Предварительное усилие $F_0=29,42$ Н(3,0 кгс).

Общее усилия испытания является суммой предварительного усилия F_0 и основного усилия F_1 .

Единица измерения глубины внедрения наконечника в методе Роквелла при малых нагрузках соответствует глубине внедрения наконечника 0,001мм. после снятия основного усилия.

Числовое значение твёрдости по методу Роквелла при малых нагрузках получается вычитанием из 100 (при применении алмазного наконечника и шарикового наконечника) разницы глубин внедрения, выраженной в количестве единиц 0,001 мм [7].

Пример:

При использовании алмазного или шарикового наконечника и глубине внедрения 0.082мм, числовое значение твёрдости рассчитывается так: $100 - 82 = 18$ единиц твёрдости по методу Роквелла при малых нагрузках.

Обозначение твёрдости по Роквеллу при малых нагрузках (по Супер – Роквеллу)

При измерении твёрдости алмазным конусом (шкалы N) или стальным шариком (шкалы T) твёрдость обозначается: например – 75 HRN15 (твёрдость 75, шкала N, нагрузка 147 Н (15 кгс) или 49 HRT30 (твёрдость 49, шкала T, нагрузка 294 Н (30 кгс) по данным [5].

В методе Роквелла при малых нагрузках используются такие же наконечники, как и в общепринятом методе Роквелла. Однако для алмазного наконечника, несмотря на то, что у него такие же очертания, требуется более высокая точность угла и радиуса алмаза. На

самом деле малые усилия создают маленький отпечаток, и в случае если конец алмаза не идеальный, результаты будут ошибочными [7].

Метод измерения твёрдости по Бринеллю

Требования к отбору образцов, аппаратуре, измерению твёрдости, содержанию протокола испытаний приведены в ГОСТ 9012 – 59 [2].

Сущность метода

Сущность метода заключается во вдавливании шарика (стального или из твёрдого сплава) в образец (изделие) под действием усилия, приложенного перпендикулярно к поверхности образца, в течение определённого времени, и измерении диаметра отпечатка после снятия усилия [2].

На рис. 3 показана иллюстрация метода Бринелля.

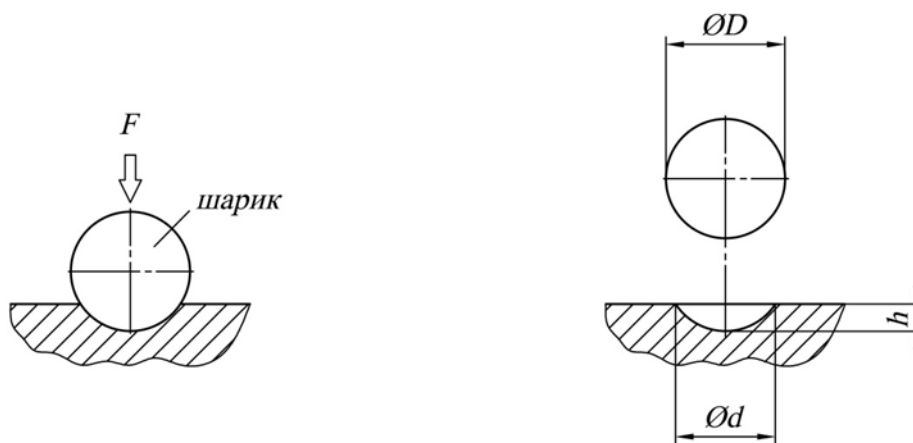


Рисунок 3. Иллюстрация метода Бринелля [7].

По данным [2] и [7] числовое значение твёрдости по методу Бринелля равно отношению приложенного усилия F к площади сферического отпечатка A и рассчитывается по формулам:

$$HB(HBW) = \frac{0,100 * F}{A} = \frac{0,102 * 2 * F}{\pi * D * (D - \sqrt{D^2 - d^2})},$$

когда усилие F выражено в Н;

$$HB(HBW) = \frac{F}{A} = \frac{2 * F}{\pi * D * (D - \sqrt{D^2 - d^2})},$$

когда усилие F выражено в кгс.

Твёрдость по Бринеллю определяют по формулам или таблицам приложения к ГОСТ 9012 – 59.

D – диаметр шарика, мм;

F – усилие, Н (кгс);

d – диаметр отпечатка, мм;

h – глубина отпечатка, вычисляемая по формуле

$$h = \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2}, \text{ мм};$$

S – толщина образца, мм;

K – отношение усилия к квадрату диаметра шарика

$$\frac{0,102 * F}{D^2} \left(\frac{F}{D^2} \right), \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} \left(\frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2} \right);$$

НВ – твёрдость по Бринеллю при применении стального шарика;

НВW – твёрдость по Бринеллю при применении шарика из твёрдого сплава.

Диаметр отпечатка d измеряют с помощью микроскопа или других средств измерения.

Диаметры отпечатков d_1 и d_2 измеряются в двух взаимно перпендикулярных направлениях. За диаметр отпечатка d принимается среднее арифметическое значение результатов измерений. При этом разность измерений диаметров одного отпечатка не должна превышать 2% меньшего из них.

По данным [2] значение K выбирают в зависимости от металла и его твёрдости в соответствии с таблицей 4:

Таблица 4.

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 её основе, лёгкие металлы и их сплавы	Менее 35	5
	От 35	10
Подшипниковые сплавы	От 8 до 50	2,5
Свинец, олово и другие мягкие сплавы	До 20	1

По данным [2] усилие F в зависимости от значения K и диаметра шарика D устанавливают в соответствии с таблицей 5:

Таблица 5.

Диаметр шарика D , мм	Усилие F , Н (кгс), для K					
	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	7355 (750)	–	2452 (250)	1226 (125)	612,9 (62,5)	245,2 (25)
10	29420 (3000)	14710 (1500)	9807 (1000)	4903 (500)	2452 (250)	98,7 (100)

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

Обозначение твёрдости по Бринеллю

Твёрдость по Бринеллю обозначают символом HB (HBW), которому предшествует числовое значение твёрдости из трёх 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 по данным [2]:

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

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

При определении твёрдости стальным шариком или шариком из твёрдого сплава диаметром 10 мм при усилении 3000 кгс (29420 Н) и продолжительности выдержки от 10 до 15 с твёрдость по Бринеллю обозначают только числовым значением твёрдости и символом HB или HBW: например, 185 HB, 600 HBW.

Метод измерения твёрдости по Виккерсу

Требования к отбору образцов, аппаратуре, измерению твёрдости, содержанию протокола испытаний приведены в ГОСТ 2999 – 75 (СТ СЭВ 470 – 77) [4].

Сущность метода

Измерение твёрдости основано на вдавливании алмазного наконечника в форме правильной четырёхгранной пирамиды в образец (изделие) под действием усилия F , приложенного в течение определённого времени и измерении диагоналей отпечатка d_1, d_2 , оставшихся на поверхности образца после снятия нагрузки [4].

На рис. 4 показана иллюстрация метода Виккерса.

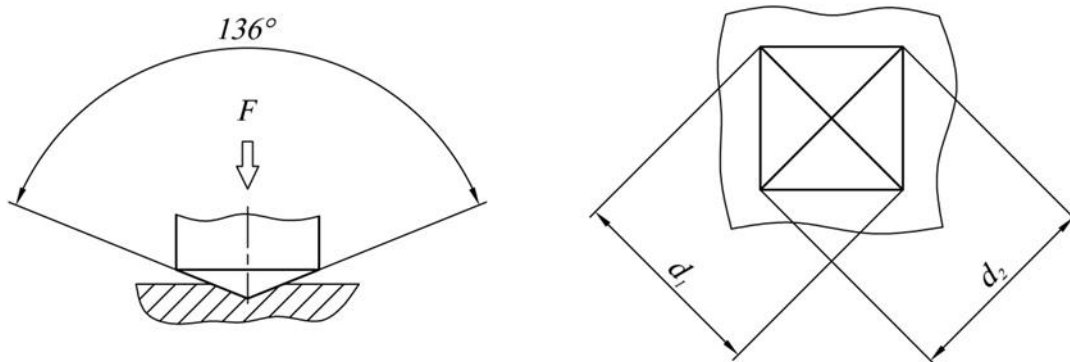


Рисунок 4. Иллюстрация метода Виккерса по материалам [4] и [7].

Длину диагонали d измеряют с помощью микроскопа или других средств измерения.

После того как сделан отпечаток, измеряют две диагонали, и так как они почти никогда не бывают равными, рассчитывают среднее арифметическое значение [7]. Разность диагоналей одного отпечатка не должна превышать 2% от меньшей из них [4].

Числовое значение твёрдости по методу Виккерсу вычисляют по формуле:

$$HV = \frac{0,102 * 2 * F * \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 0,189 * \frac{F}{d^2},$$

где F – нагрузка, Н.

$$HV = \frac{2 * F * \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1,854 * \frac{F}{d^2},$$

где F – нагрузка, кгс;

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

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

При измерении твёрдости алмазной пирамидой применяются следующие усилия: 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) [4].

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

Обозначение твёрдости по Виккерсу по данным [4]:

Твёрдость по Виккерсу при условиях испытания $F=294.2$ Н (30 кгс) и времени выдержки под нагрузкой 10-15 с – обозначается цифрами, характеризующими величину

твёрдости, и буквами HV. При других условиях испытания после букв HV указывается нагрузка и время выдержки.

Примеры обозначения: 500 HV – твёрдость по Виккерсу, полученная при нагрузке $F=30$ кгс и времени выдержки 10 – 15 с;

220 HV 10/40 – твёрдость по Виккерсу, полученная при нагрузке 98,07 (10 кгс) и времени выдержки 40 с.

Главное преимущество метода Виккерса состоит в использовании только одной шкалы, которая может простирается от самого низкого до самого высокого числового значения твёрдости. По этой причине этот метод является основным для исследовательских лабораторий [7].

2. Рассказать об областях применения каждого из этих методов, о преимуществах и недостатках каждого из этих них.

3. Рассказать о существовании ГОСТов:

ГОСТ 9012 – 59 (ИСО 410 – 82, ИСО 6506 – 81). МЕТАЛЛЫ. МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ТВЁРДОСТИ ПО БРИНЕЛЛЮ. Введ. 01–01–60. М. : Стандартиформ, 2007. 40 С.

ГОСТ 9013 – 59 (СТ СЭВ 469–77, ИСО 6508 – 86). МЕТАЛЛЫ. МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ТВЁРДОСТИ ПО РОКВЕЛЛУ. Введ. 04–02–59. М. : Издательство стандартов, 1991. 13 с.

ГОСТ 2999 – 75 (СТ СЭВ 470 – 77). МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ. МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ТВЁРДОСТИ ПО ВИККЕРСУ. Введ. 01–07–76. М. : Издательство стандартов, 1987. 31 с.

ГОСТ 22975 – 78. МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ. МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ТВЁРДОСТИ ПО РОКВЕЛЛУ ПРИ МАЛЫХ НАГРУЗКАХ (ПО СУПЕР – РОКВЕЛЛУ). Введ. 01–01–79. М. : Издательство стандартов, 1992. 12 с.

4. Сообщить о существовании стандартов других стран. Например:

DIN 50103 T1 – Härteprüfung nach Rockwell C, A, B, F (измерение твёрдости по Роквеллу с использованием шкал C, A, B, F)

DIN 50103 T2 – Härteprüfung nach Rockwell N und T (Измерение твёрдости по Роквеллу с использованием шкал N и T).

5. Подписать образцы фломастером (№1 и №2).

Измерить образцы и занести результаты измерений в таблицу 15.1 в журнале. Обратить внимание на существование таких параметров испытания, как продолжительность выдержки наконечника под действием заданного усилия, минимальная толщина образца (или участка для измерения твёрдости изделия), расстояние от центра отпечатка до края образца, расстояние между центрами двух соседних отпечатков (в методе Виккерса – расстояние между центром отпечатка и краем образца или краем соседнего отпечатка), шероховатость поверхности образца (или участка для измерения твёрдости изделия) и т.д. (Рекомендуется ознакомиться с указанными в п.3 ГОСТами).

В зале испытательных машин

6. Подойти к твердомеру и кратко рассказать об устройстве и комплектации полуавтоматического твердомера АТ 200 DR.

Конструкция данного прибора предусматривает:

- автоматическое приложение нормированного предварительного усилия и основного усилия с помощью поворота рычага усилия;
- автоматическую коррекцию результата испытания на закруглённых поверхностях (необходимо ввести на панели управления диаметр образца).

В состав стандартных аксессуаров к прибору входят следующие наконечники (в современных источниках информации может встретиться термин "индентор", возникший при переводе с английского языка):

- **наконечник алмазный конусный для испытания по методу Роквелла** (может встретиться термин "алмазный индентор для испытания по методу Роквелла", возникший при переводе с английского языка);
- **наконечник шариковый стальной для испытания по методу Роквелла, диаметр шарика 1,588 мм.** (может встретиться термин "шариковый индентор 1/16" для испытания по методу Роквелла" (1/16" – диаметр шарика), возникший при переводе с английского языка);
- **наконечник шариковый стальной для испытания по методу Бринелля, диаметр шарика 2,5 мм.** (может встретиться термин "шариковый индентор 2,5 мм. для испытания по методу Бринелля" (2,5 мм – диаметр шарика), возникший при переводе с английского языка).

7. Включить твердомер.

Так как испытания будут проводиться по методу Роквелла с использованием для записи результатов шкалы HRB, то для проведения испытания необходимо установить на приборе общее усилие испытания 100 кгс.

8. Поместить образец №1 на столик твердомера для образца.
9. Измерить твёрдость образца по методу Роквелла с помощью стального сферического наконечника (диаметр шарика 1,588 мм) по шкале HRB и записать это значение в таблицу 15.2 в журнале по правилам, уяснив, что значат буквы и цифры.
10. Повторить пункт 9 ещё 2 раза.
11. Снять образец №1 со столика твердомера для образца.
12. Поместить образец №2 на столик твердомера для образца.
13. Измерить твёрдость образца по методу Роквелла с помощью стального сферического наконечника (диаметр шарика 1,588 мм) по шкале HRB и записать это значение в таблицу 15.2 в журнале по правилам, уяснив, что значат буквы и цифры.
14. Повторить пункт 13 ещё 2 раза.
15. Снять образец №2 со столика твердомера для образца.

16. Рассказать, что конструкция данного прибора предусматривает возможность визуализации результата испытания по другой шкале.
17. Рассказать про существование и использование образцовых мер твёрдости, показать их. Образцовые меры твёрдости применяются при поверке приборов для измерения твердости металлов по методам Бринелля, Роквелла, Супер-Роквелла и Виккерса.
18. Выключить твердомер.

В аудитории

19. Провести обработку результатов экспериментальной части лабораторной работы согласно таблице 15.2.
20. Рассказать, что результаты испытаний заносят в протокол испытания (сертификат); что в ГОСТах для конкретных методов испытания на твёрдость описано, какие данные необходимо указать; в настоящее время рекомендуется указывать как можно больше данных о параметрах испытания.
Рассказать о существовании таблиц преобразования числовых значений твёрдости.

21. Записать выводы, обратив внимание на:

- возможность определения твёрдости различными методами по разным шкалам с использованием определённых наконечников;
- существование рекомендаций для применения того или иного метода измерения твёрдости;
- эргономические аспекты твердомера АТ 200 DR и его комплектации.

Автор уверен, что обязательная демонстрация испытательного оборудования в самом начале лабораторной работы существенно повышает интерес студентов и эффективность проведения лабораторной работы.

Список литературы

1. Пономарев С.Д. Лабораторные работы по курсу "Сопротивление материалов". Методическое пособие. / Под ред. Пономарева С.Д. М.: Изд-во МВТУ им. Н.Э. Баумана. 1960. 187 с.
2. ГОСТ 9012 – 59 (ИСО 410 – 82, ИСО 6506 – 81). Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю. Введ. 01.01.60. М.: Стандартиформ. 2007. 40 С.
3. ГОСТ 9013 – 59 (СТ СЭВ 469–77, ИСО 6508 – 86). Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу. Введ. 04.02.59. М.: Издательство стандартов. 1960, 1991 (переизд. с изм.). 13 с.
4. ГОСТ 2999 – 75 (СТ СЭВ 470 – 77). Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Виккерсу. Введ. 01.07.76. М.: Издательство стандартов. 1987. 31 с.

5. ГОСТ 22975 – 78. Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Роквеллу при малых нагрузках (по Супер-Роквеллу). Введ. 01.01.79. М.: Издательство стандартов. 1978, 1992 (переизд. с изм.). 12 с.
6. Сайт лаборатории кафедры РК-5 МГТУ им. Н.Э. Баумана. Режим доступа: <http://rk5-lab.bmstu.ru/test/normative/index.php> (дата обращения 29 мая 2015 года).
7. Ernst Guide to hardness testing // Streng Avi Technical Equipment Ltd. 25 p. Режим доступа: http://www.streng.co.il/image/users/178827/ftp/my_files/Technical%20Helps/ERNST%20Guide%20to%20Hardness%20Testing.pdf?id=7990689 (дата обращения 29 мая 2015 года).
8. Instruction and maintenance manual for hardness tester. Type AT 200 DR. Ernst. ERNST Härteprüfer SA. AT200DR-ENG-V1.01 May 2001. 49 p

Далее приводится образец оформления страниц журнала лабораторных занятий.

Примечание: одна из таблиц преобразования числовых значений твёрдости приведена в [1]. Другие таблицы преобразования числовых значений твёрдости могут быть получены из Интернета при условии соблюдения авторских и других прав.

Работа № 15. Определение твёрдости металлов

1. Цель работы

2. Характеристика лабораторной установки и образцов для измерения числовых значений твёрдости

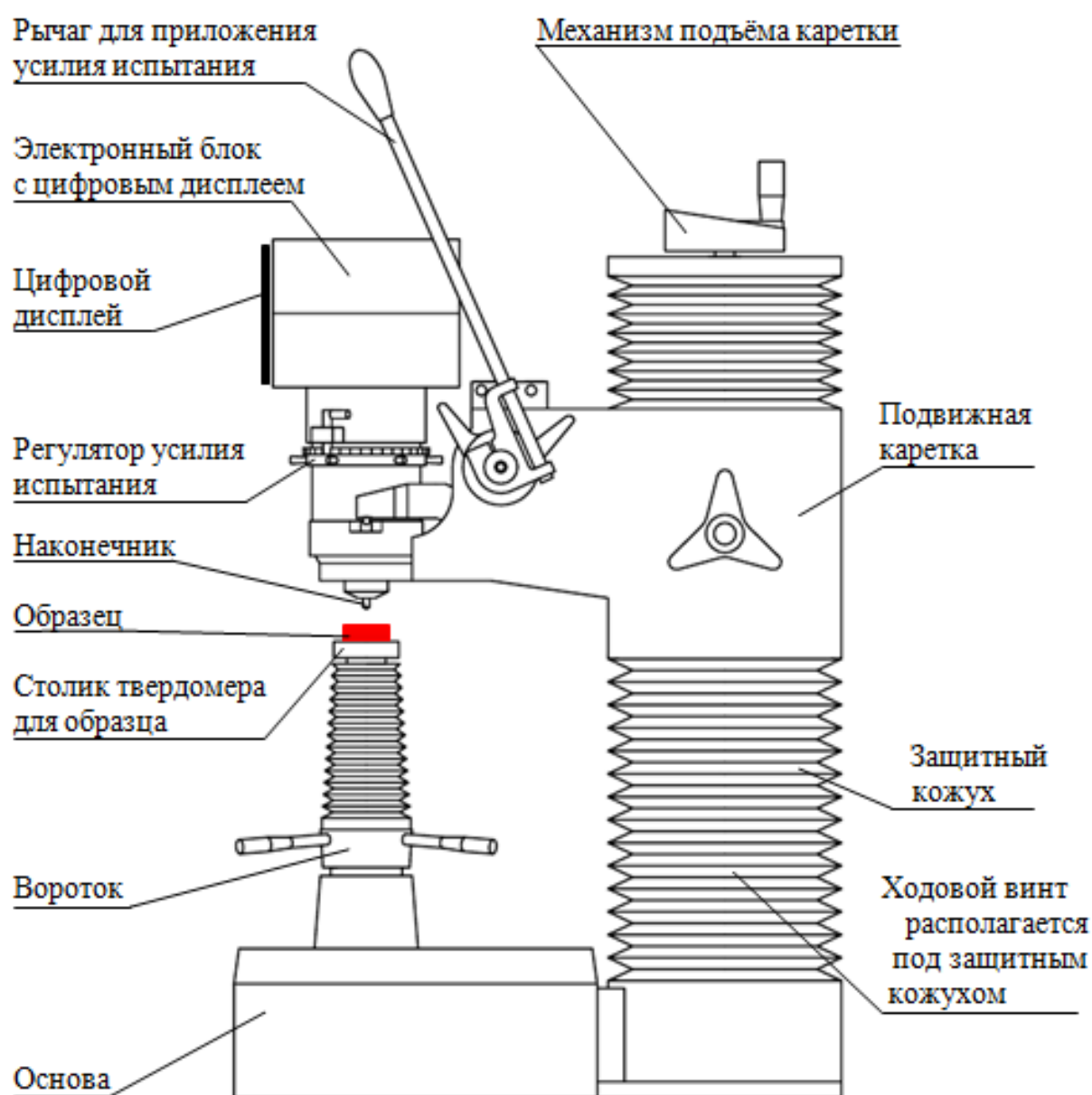


Рис 15.1. Схема установки.

Эскиз образца

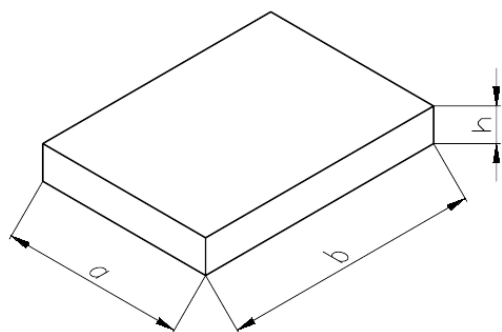


Таблица 15.1

Номер образца	Материал образца	a, мм	b, мм	h, мм
1				
2				

3. Результаты экспериментов, расшифровка аббревиатур и перевод результатов в другие шкалы

Метод определения твёрдости:

Таблица 15.2

Номер образца	Номер опыта, i	Числовое значение твёрдости, $n_i, i = 1, 2, 3$	Обозначение твёрдости для $\bar{n}$	Перевод результата испытания в другие шкалы с помощью таблицы преобразования числовых значений твёрдости
1	1			
	2			
	3			
		$\bar{n} =$		
2	1			
	2			
	3			
		$\bar{n} =$		

1) Пример: используя алмазный наконечник и усилие 150 кгс, твёрдость будет называться HRC, где Н обозначает Hardness (твёрдость), R – Rockwell method (метод Роквелла), C – используемая шкала. Числовое значение твёрдости помещается перед этим обозначением, например, 60 HRC.

2) Расшифровка обозначения твёрдости:

3) Выводы:

Подпись преподавателя _____ Дата _____