



«Материаловедение и обработка материалов»

Лабораторная работа №3

Мощенко В.И.
Дощечкина И.В.
Лалазарова Н.А.

2016

Лабораторная работа №3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЁРДОСТИ МЕТАЛЛОВ

Цель работы - овладеть методами измерения твердости; определить взаимосвязь между твердостью и показателями прочности.

Приборы и материалы:

1. Твердомеры Бринелля, Роквелла.
2. Лупа для измерения отпечатка.
2. Микроскоп цифровой.
3. Компьютерная программа для определения твёрдости по Бринеллю.
4. Набор стальных образцов.



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ТВЕРДОСТИ

Твердость – это способность материала сопротивляться проникновению в него более твердого тела, называемого индентором.

Определение твёрдости - наиболее простой и оперативный метод контроля качества материала изделия.

Методы оценки твёрдости делятся по нескольким признакам.

По диапазону:

- макротвердость (нагрузка 2Н-30 000Н);
- микротвердость (нагрузка меньше 2Н, глубина отпечатка больше 0,2мкм)
- нанотвердость (глубина отпечатка меньше 0,2мкм).

По виду нагружения:

- статические методы;
- динамические методы;
- кинетические.

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ТВЕРДОСТИ

Индентором может служить:

- ☐ твердосплавный (стальной закаленный) шарик,
- ☐ алмазный конус;
- ☐ алмазная пирамида.

В настоящее время наиболее широко используются следующие статические методы определения твердости:

- по Бринеллю,
- Роквеллу,
- Виккерсу.

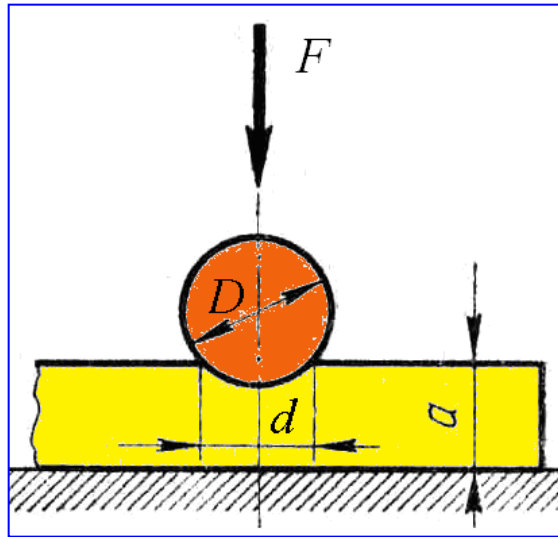
Измерение твердости является неразрушающим методом контроля.

Локальность метода обеспечивает возможность оценки свойств тонких поверхностных слоев. Методом микротвердости можно оценить твердость отдельных структурных составляющих.

МЕТОД БРИНЕЛЛЯ

Метод измерения твердости по Бринеллю заключается во вдавливании **твердосплавного шарика** диаметром $D = 1; 2,5; 5; 10$ мм при **нагрузке** $F = 15,6-3000$ кгс, которая прикладывается в течение определенного времени.

После снятия нагрузки измеряют диаметр отпечатка d , который остается на поверхности образца.



Диаметр отпечатка измеряют с помощью специальной лупы или цифрового микроскопа.

Величина твердости по Бринеллю определяется как отношение усилия вдавливания F к площади поверхности лунки S :

$$HBW = \frac{F}{S}$$

МЕТОД БРИНЕЛЛЯ

Твердость по Бринеллю имеет размерность напряжения **кгс/мм²** или **МПа**. Выразив глубину отпечатка h через диаметр шарика D и отпечатка d и подставив эти значения в формулу для вычисления площади поверхности шарового сегмента, получаем

$$HBW = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Однако, обычно твердость по Бринеллю не подсчитывают по формуле, а, зная диаметр лунки d , находят по переводным таблицам.

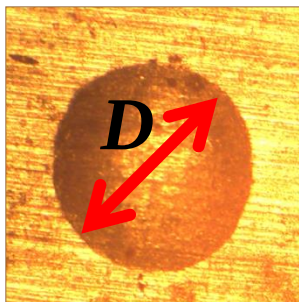
Для измерения этим способом используют автоматический рычажный пресс, который получил название **твердомера Бринелля**.

Величину нагрузки и диаметр шарика выбирают в зависимости от свойств материала и толщины испытуемого образца. Регламентируется также **время выдержки** металла под нагрузкой: 10, 30 или 60 с (чаще всего 30 с). Граница измерения твёрдости по Бринеллю – 650 HBW.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЁРДОСТИ ПО МЕТОДУ БРИНЕЛЛЯ



Твердомер Бринелля



HBW 10/3000
HBW 10/1500
HBW 10/1000
HBW 10/500
HBW 10/250
HBW 10/125
HBW 10/100
HBW 5/750
HBW 5/250
HBW 5/125
HBW 5/62,5
HBW 5/31,25
HBW 5/25
HBW 2,5/187,5
HBW 2,5/62,5
HBW 2,5/31,25
HBW 2,5/15,625
HBW 2,5/7,8125
HBW 2,5/6,25
HBW 2/187,5
HBW 2/62,5
HBW 2/31,25
HBW 2/15,625
HBW 2/7,8125
HBW 1/30
HBW 1/10
HBW 1/5
HBW 1/2,5
HBW 1/1,25
HBW 1/1

P=30 D ²		P=10 D ²		P=5 D ²		P=2,5 D ²		P=1 D ²	
кгс	Н	кгс	Н	кгс	Н	кгс	Н	кгс	Н
187,5	1840	62,5	613	31	307	15,5	153	6,2	61,5
Железо, сталь, чугун и высокопрочные сплавы		Медь, никель, и их сплавы		Алюминий, магний и их сплавы		Подшипниковые сплавы		Олово, свинец	
96-450 HB		32-200 HB		16-100 HB		8-50 HB		3,2-20 HB	

$$HBW = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

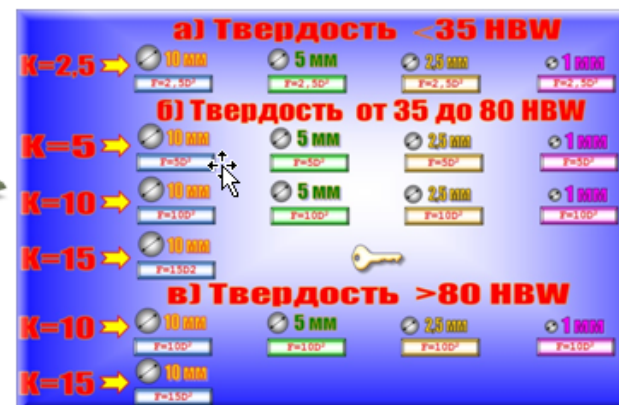
30 шкал

ГОСТ 9012-59 Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю.

ISO 6506-1:2005: Metallic materials - Brinell hardness test - Part 1: test method.

ASTM E10 - 10 Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials.

Определение твердости по Бринеллю согласно ДСТУ ISO 6506-1:2007



Диаметр шарика, мм	Сталь, Ni-, Ti-сплавы	Чугун		Медь и сплавы меди			Легкие металлы и их сплавы						Свинец, олово
		HBW<140	HBW≥140	HBW<35	HBW от 35 до 200	HBW>200	HBW<35	HBW от 35 до 80	HBW от 35 до 80	HBW от 35 до 80	HBW>80	HBW>80	
	F=30 D ²	F=10 D ²	F=30 D ²	F=5 D ²	F=10 D ²	F=30 D ²	F=2,5 D ²	F=5 D ²	F=10 D ²	F=15 D ²	F=10 D ²	F=15 D ²	F=1 D ²
1	294,2	98,07	294,2	49,03	98,07	294,2	24,52	49,03	98,07		98,07		9,807
2,5	1839	612,9	1839	306,5	612,9	1839	153,2	306,5	612,9		612,9		61,29
5	7355	2452	7355	1226	2452	7355	612,9	1226	2452		2452		245,2
10	29420	9807	29420	4903	9807	29420	2452	4903	9807	14710	9807	14710	980,7

Новое обозначение твердости по Бринеллю согласно ДСТУ ISO 6506-1:2007



Сл.тел.+38(057)700-38-75;
М.тел.+38 (096-359-79-46)
mvi@khadi.kharkov.ua

**Мощенок
Василий Иванович**

Обозначение твердости по Бринеллю

425 HBW 10 / 3000 / 20



Время выдержки, с
(если не равно 10-15 с)

Приложенное усилие, кгс

Диаметр твердосплавного шарика-индентора,
мм

Символ твердости по Бринеллю

Число твердости по Бринеллю, кгс/мм²

МЕТОД ВИККЕРСА

Метод определения твердости по Виккерсу состоит во вдавливании в поверхность образца (изделия) алмазной четырехгранной пирамиды с квадратным основанием – пирамиды Виккерса. Нагрузка F при испытаниях - 5, 10, 20, 30, 50, 100 кгс. После снятия нагрузки измеряют обе диагонали отпечатка.

Твёрдость определяют как отношение нагрузки к площади боковой поверхности отпечатка.

$$HV = 1,8544 \frac{F}{d^2}$$

де d – среднее арифметическое двух диагоналей.

Твердость по Виккерсу имеет размерность напряжения (кгс/ мм² или МПа).

Использование алмазной пирамиды позволяет расширить диапазон измерения твёрдости до 1000 единиц, что соответствует очень твердым материалам.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЁРДОСТИ ПО МЕТОДУ ВИККЕРСА



Твердомер Виккерса



$$HV = 1,8544 \frac{F}{d^2}$$

HV 0,001	0,0098
HV 0,002	0,0196
HV 0,005	0,049
HV 0,01	0,0981
HV 0,02	0,1962
HV 0,05	0,4905
HV 0,1	0,981
HV 0,2	1,962
HV 0,3	2,943
HV 0,5	4,905
HV	от 9,807 до 1176,68 Н (макродиапазон)
HV	от $9,807 \times 10^{-3}$ до 9,807 Н (микродиапазон)
HV 0,015	0,147
HV 0,025	0,245
HV 1	9,807
HV 2	19,61
HV 3	29,42
HV 5	49,03
HV 10	98,07
HV 20	196,1
HV 30	294,2
HV 50	490,3
HV 100	980,7

>21 шкал

ГОСТ 9450-76 Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников.

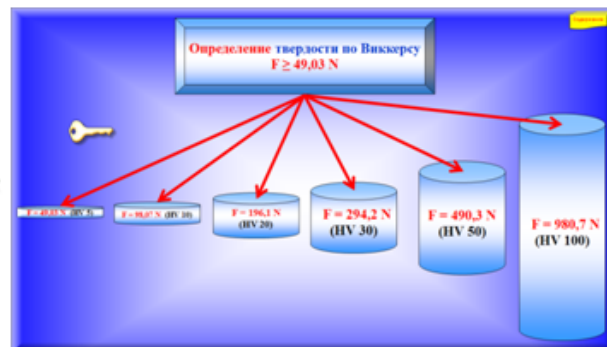
ГОСТ 2999-75 Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Виккерсу.

ISO 6507-1:2005 Metallic materials - Vickers hardness test - Part 1: Test method.

ASTM E384 - 10e2 Standard Test Method for Knoop and Vickers Hardness of Materials.

Определение твердости по Виккерсу согласно ДСТУ ISO 6507-1:2007

Выбор диапазона измерения твердости по Виккерсу:



Твердость по Виккерсу ($F \geq 49,03 \text{ N}$)		Твердость по Виккерсу при малых нагрузках ($1,961 \text{ N} \leq F < 49,03 \text{ N}$)		Микротвердость по Виккерсу ($0,098 \text{ N} \leq F < 1,961 \text{ N}$)	
Символ твердости	Значение F, N	Символ твердости	Значение F, N	Символ твердости	Значение F, N
HV 5	49,03	HV 0,2	1,961	HV 0,01	0,09807
HV 10	98,07	HV 0,3	2,942	HV 0,015	0,147
HV 20	196,1	HV 0,5	4,903	HV 0,02	0,1961
HV 30	294,2	HV 1	9,807	HV 0,025	0,2452
HV 50	490,3	HV 2	19,61	HV 0,05	0,4903
HV 100	980,7	HV 3	29,42	HV 0,1	0,9807

**Новое
обозначение твердости по
Виккерсу согласно с
ДСТУ ISO 6507-1:2007**



Сл.тел.+38(057)700-38-75;
М.тел.+38 (096-359-79-46)
mvi@khadi.kharkov.ua

**Мощенок
Василий Иванович**

Обозначение твердости по Виккерсу

750 HV 30 / 20



Время выдержки, с
(если не равно 10-15 с)

Приложенное усилие, кгс

Символ твердости по Виккерсу

Число твердости по Виккерсу, кгс/мм²

МЕТОД РОКВЕЛЛА

Метод Роквелла является универсальным, он применяется для мягких и твердых материалов, для оценки твёрдости в тонких слоях или сечениях.

Инденторами могут быть стальной шарик диаметром 1,588 мм или алмазный конус с углом при вершине 120° . Прибор имеет 54 шкалы, наиболее часто используются шкалы А, В и С.



Алмазный
конус



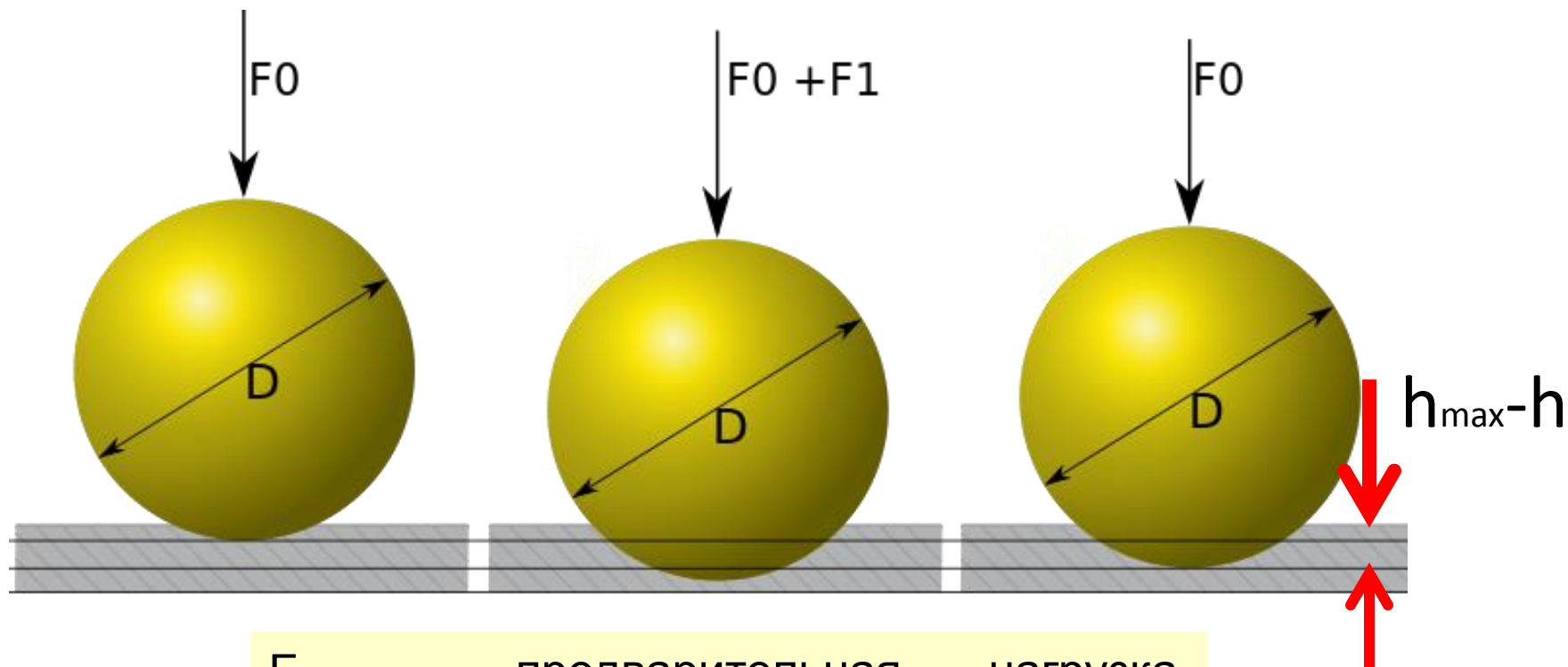
Шарик
 $\varnothing 1,588$
мм

При измерении алмазным конусом используются шкалы А и С и твердость обозначается HRA, HRC соответственно. При измерении стальным шариком используют шкалу В, а твердость обозначают HRB.

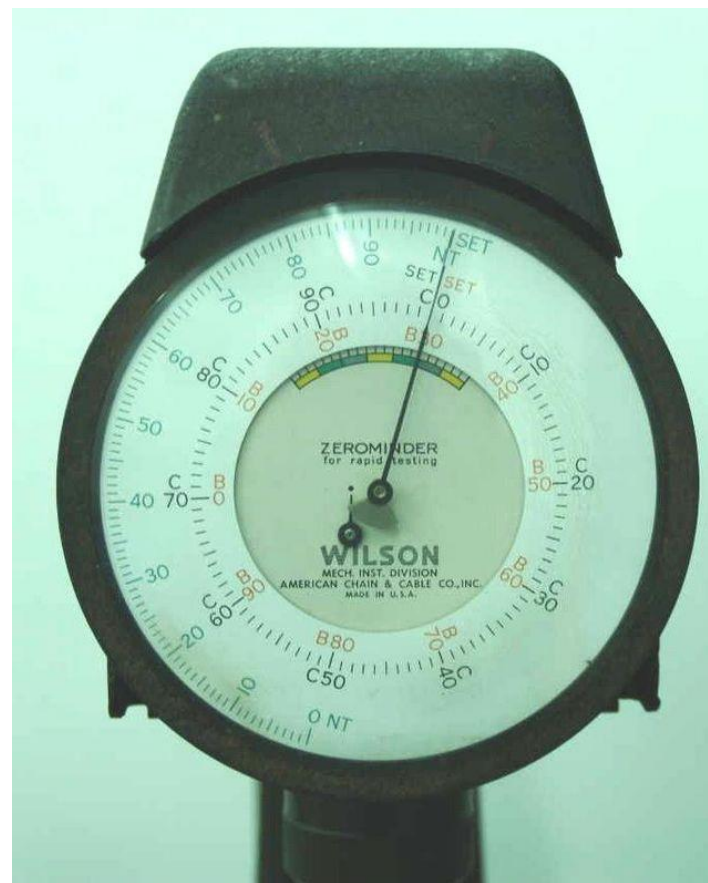
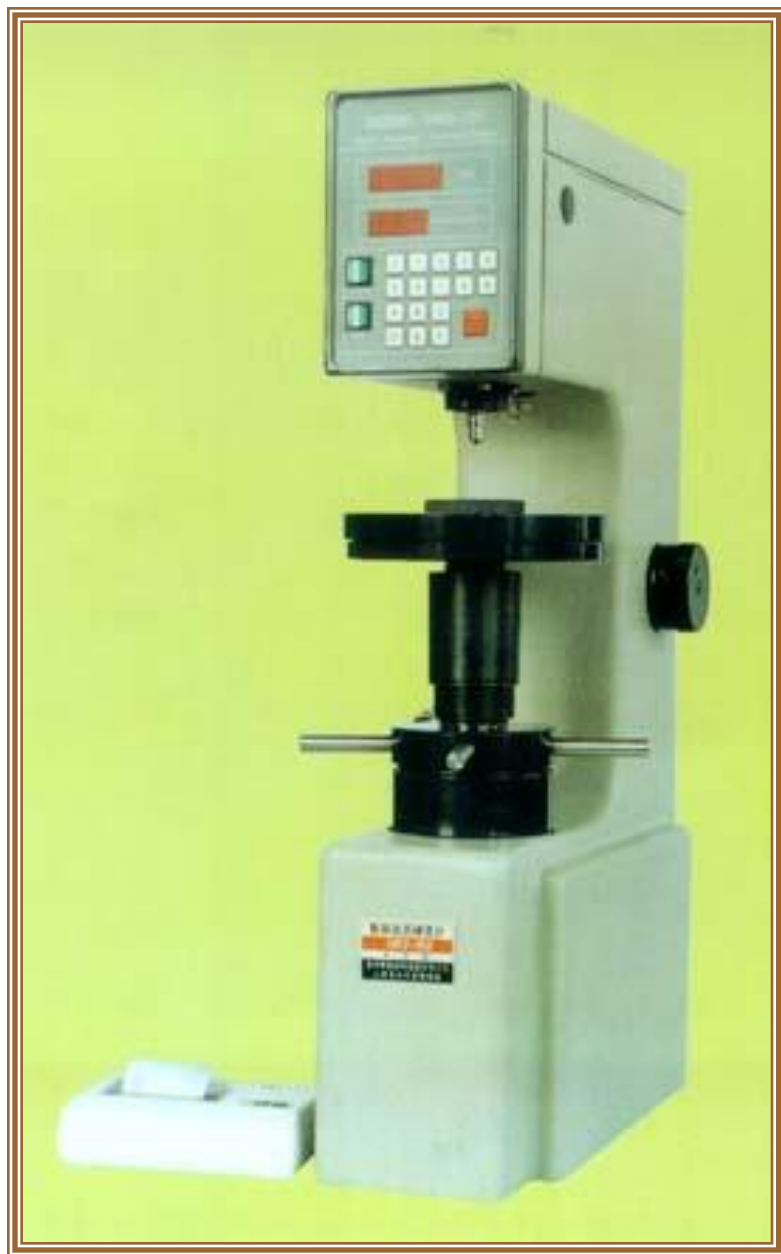
По шкале С измеряют высокую твердость, например, закаленных изделий; по шкале В – твердость стали после отжига, нормализации и т.д. Для измерения твердости тонких изделий или тонких слоев, а также очень твердых материалов используют шкалу А.

МЕТОД РОКВЕЛЛА

Порядок измерения твёрдости по Роквеллу: 1) предварительная нагрузка 10 кгс, 2) основная нагрузка 3) снять основную нагрузку, 4) прочесть на циферблате шкалы прибора значение твёрдости. Разность глубин внедрения индентора ($h_{\max} - h$) соответствует определяемой твёрдости.



F_0 – предварительная нагрузка,
 F_1 – основная нагрузка.



Цифровой
твердомер
Роквелла

МЕТОД РОКВЕЛЛА

Шкала	Обозначение	Индентор	Нагрузка Р, кгс
А – измеряют твёрдость тонких слоёв и изделий	HRA	алмазный конус	60
В – твёрдость мягких материалов	HRB	стальной (твердосплавный) шарик	100
С – закалённых сталей	HRC	алмазный конус	150

Твердость по Роквеллу является безразмерным числом.

Отпечатки на поверхности детали имеют небольшие размеры и практически не влияют на дальнейшую эксплуатацию изделия.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЁРДОСТИ ПО МЕТОДУ РОКВЕЛЛА



$$HRC = 100 - \frac{(h_{\max} - h)}{C}$$

HRA	конус
HRB	шарик 1,588 мм
HRC	конус
HRD	конус
HRE	шарик 3,175 мм
HRF	шарик 1,588 мм
HRG	шарик 1,588 мм
HRH	шарик 3,175 мм
HRK	шарик 3,175 мм
HR15N	конус
HR30N	конус
HR45N	конус
HR15T	шарик 1,588 мм
HR30T	шарик 1,588 мм
HR45T	шарик 1,588 мм
HRL	шарик 6,35 мм
HRM	шарик 6,35 мм
HRP	шарик 6,35 мм
HRR	шарик 12,7 мм
HRS	шарик 12,7 мм
HRV	шарик 12,7 мм
HR15W	шарик 3,175 мм
HR30W	шарик 3,175 мм
HR45W	шарик 3,175 мм
HR15X	шарик 6,35 мм
HR30X	шарик 6,35 мм
HR45X	шарик 6,35 мм
HR15Y	шарик 12,7 мм
HR30Y	шарик 12,7 мм
HR45Y	шарик 12,7 мм

54 шкал

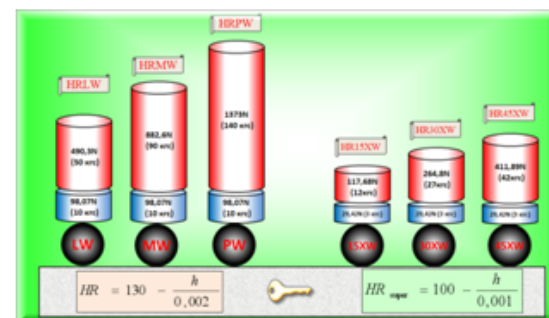
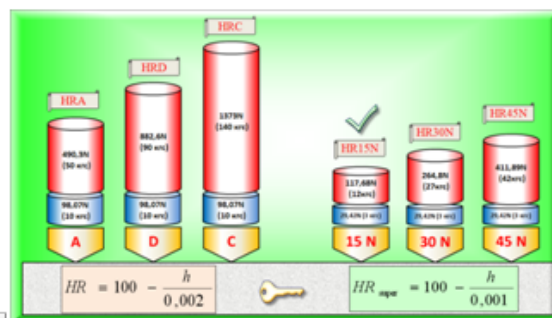
ГОСТ 9013-59 Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу.

ГОСТ 22975-78 Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Роквеллу при малых нагрузках (по Супер-Роквеллу).

ISO 6508-1:2005 Metallic materials - Rockwell hardness test - Part 1: Test method (scales A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T).

ASTM E18 - 08b Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials.

Определение твердости по Роквеллу согласно ISO 6508-1:2005; ASTM E18-08a



Шкала	Индентор	F ₀ ,N	F ₁ ,N	F,N	Шкала	Индентор	F ₀ ,N	F ₁ ,N	F,N	Шкала	Индентор	F ₀ ,N	F ₁ ,N	F,N
HRA	Конус алм	98,07	490,35	588,42	HRLW	Ø6,35ТВ	98,07	490,35	588,42	HRHS	Ø3,175ст	98,07	490,35	588,42
HRD	Конус алм	98,07	882,6	980,7	HRMW	Ø6,35ТВ	98,07	882,6	980,70	HRES	Ø3,175ст	98,07	882,6	980,70
HRC	Конус алм	98,07	1373	1471,07	HRPW	Ø6,35ТВ	98,07	1373	1471,07	HRKS	Ø3,175ст	98,07	1373	1471,07
HR15N	Конус алм	29,42	117,68	147,1	HR15XW	Ø6,35ТВ	29,42	117,68	147,10	HR15WS	Ø3,175ст	29,42	117,68	147,10
HR30N	Конус алм	29,42	264,8	294,22	HR30XW	Ø6,35ТВ	29,42	264,8	294,22	HR30WS	Ø3,175ст	29,42	264,8	294,22
HR45N	Конус алм	29,42	411,89	441,31	HR45XW	Ø6,35ТВ	29,42	411,89	441,31	HR45WS	Ø3,175ст	29,42	411,89	441,31
HRFW	Ø1,588ТВ	98,07	490,35	588,42	HRRW	Ø12,7ТВ	98,07	490,35	588,42	HRLS	Ø6,35ст	98,07	490,35	588,42
HRBW	Ø1,588ТВ	98,07	882,6	980,7	HRSW	Ø12,7ТВ	98,07	882,6	980,70	HRMS	Ø6,35ст	98,07	882,6	980,70
HRGW	Ø1,588ТВ	98,07	1373	1471,07	HRVW	Ø12,7ТВ	98,07	1373	1471,07	HRPS	Ø6,35ст	98,07	1373	1471,07
HR15TW	Ø1,588ТВ	29,42	117,68	147,1	HR15YW	Ø12,7ТВ	29,42	117,68	147,10	HR15XS	Ø6,35ст	29,42	117,68	147,10
HR30TW	Ø1,588ТВ	29,42	264,8	294,22	HR30YW	Ø12,7ТВ	29,42	264,8	294,22	HR30XS	Ø6,35ст	29,42	264,8	294,22
HR45TW	Ø1,588ТВ	29,42	411,89	441,31	HR45YW	Ø12,7ТВ	29,42	411,89	441,31	HR45XS	Ø6,35ст	29,42	411,89	441,31
HRRW	Ø3,175ТВ	98,07	490,35	588,42	HRFS	Ø1,588ст	98,07	490,35	588,42	HRRS	Ø12,7ст	98,07	490,35	588,42
HREW	Ø3,175ТВ	98,07	882,6	980,7	HRBS	Ø1,588ст	98,07	882,6	980,70	HRSS	Ø12,7ст	98,07	882,6	980,70
HRKW	Ø3,175ТВ	98,07	1373	1471,07	HRGS	Ø1,588ст	98,07	1373	1471,07	HRVS	Ø12,7ст	98,07	1373	1471,07
HR15WW	Ø3,175ТВ	29,42	117,68	147,1	HR15TS	Ø1,588ст	29,42	117,68	147,10	HR15YS	Ø12,7ст	29,42	117,68	147,10
HR30WW	Ø3,175ТВ	29,42	264,8	294,22	HR30TS	Ø1,588ст	29,42	264,8	294,22	HR30YS	Ø12,7ст	29,42	264,8	294,22
HR45WW	Ø3,175ТВ	29,42	411,89	441,31	HR45TS	Ø1,588ст	29,42	411,89	441,31	HR45YS	Ø12,7ст	29,42	411,89	441,31

Новое
обозначение твердости по
Роквеллу согласно с
(ISO 6508-1:2005; ASTM E18-08a)



Сл.тел.+38(057)700-38-75;
 М.тел.+38 (096-359-79-46)
mvi@khadi.kharkov.ua
Мощенок
Василий Иванович

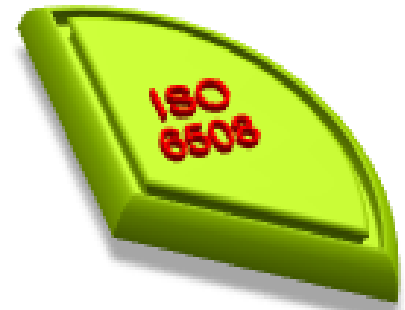
Обозначение твердости по Роквеллу

55

HR

30T

W



Материал индентора:

W – шарик из твердого сплава;

S – шарик из стали;

пусто – алмазный конус

Шкала твердости по Роквеллу

1,588

Символ твердости по Роквеллу

Число твердости по Роквеллу

Обозначение твердости по Роквеллу

55

HR

30Y

W



Материал индентора:

W – шарик из твердого сплава;

S – шарик из стали;

пусто – алмазный конус

Шкала твердости по Роквеллу

12,7

Символ твердости по Роквеллу

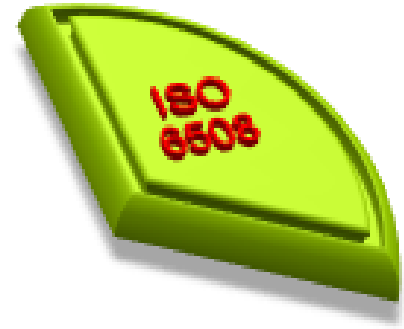
Число твердости по Роквеллу

Обозначение твердости по Роквеллу

55

HR

C



Материал индентора:

W – шарик из твердого сплава;
S – шарик из стали;
пусто – алмазный конус

Шкала твердости по Роквеллу

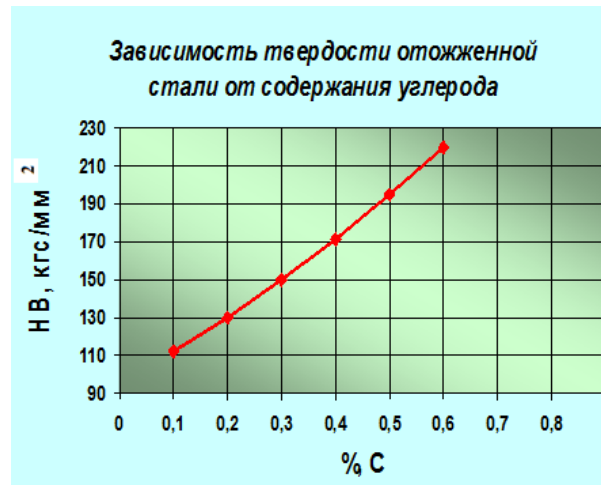
Символ твердости по Роквеллу

Число твердости по Роквеллу

СВЯЗЬ МЕЖДУ ТВЁРДОСТЬЮ, ПРОЧНОСТЬЮ И КОЛИЧЕСТВОМ УГЛЕРОДА В СТАЛИ

Твердость зависит от химического состава и структуры сплава. Так, например, с увеличением содержания углерода твердость отожженной стали возрастает в пропорциональной зависимости.

Зная содержание углерода в стали, можно, пользуясь графиком, определить ее твердость, и наоборот.



Для стали в пластичном состоянии между твердостью HBW и временным сопротивлением σ_B установлены зависимости.

Для стали твердостью от 120 до 170 HBW (при её измерении в кгс/мм²)

$$\sigma_B = 0,34 \text{ HB}$$

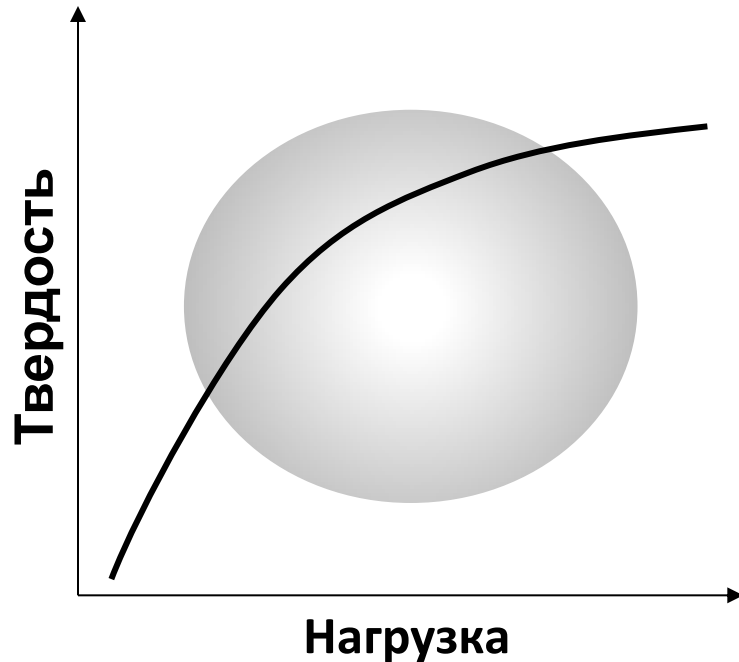
Если твёрдость от 170 до 450 кгс/мм², то

$$\sigma_B = 0,35 \text{ HB}$$

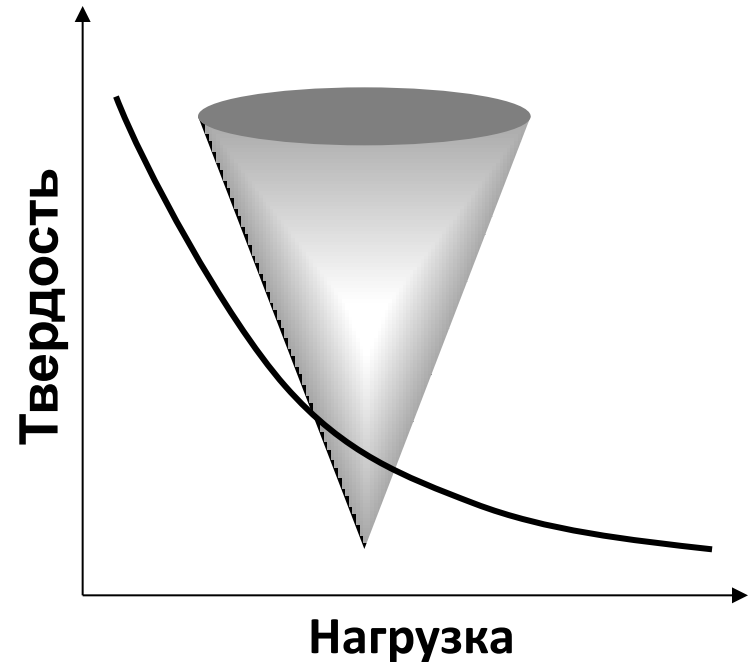
ЗАВИСИМОСТЬ ТВЁРДОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ИСПЫТАНИЯ

Значение твердости не является постоянной величиной для данного материала. Оно зависит от условий испытания (нагрузка и геометрия индентора). Характер такой зависимости определяется формой индентора.

При использовании сферического индентора чем больше нагрузка, тем выше твердость.



Для острых инденторов (конус, пирамида) – с увеличением нагрузки твердость снижается.



ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 1) Ознакомиться с методиками определения статической твёрдости.
- 2) Ознакомиться с приборами измерения твердости по Бринеллю, Роквеллу и Виккерсу.
- 3) На образцах стали в отожженном состоянии измерить твердость по Бринеллю (пять измерений на образце).
- 4) С помощью лупы измерить диаметры каждого отпечатка в двух взаимно перпендикулярных направлениях и результаты измерений занести в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты измерения твёрдости по Бринеллю*

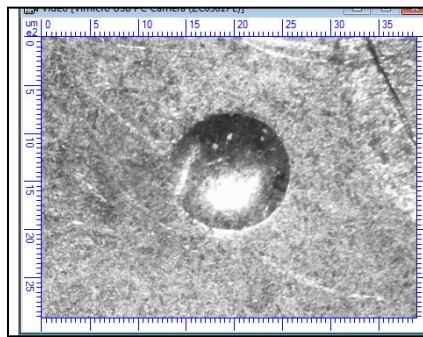
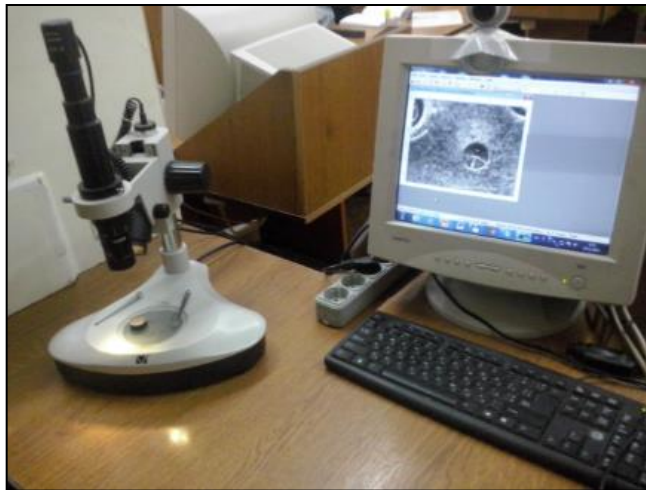
Номер замера	Нагрузка Р, кгс	Диаметр шарика D, мм	Диаметр лунки d, мм	Твёрдость HBW	
				кгс/мм ²	МПа
1					
2					
3					
Среднее значение					

*измерение размеров отпечатков производится при помощи лупы

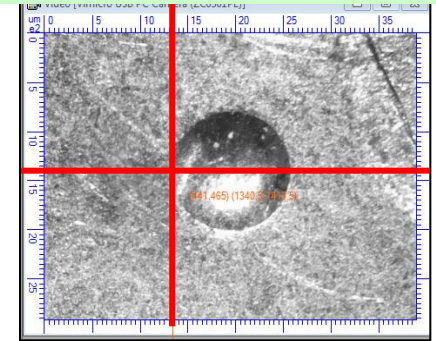
5) Произвести измерение отпечатков при помощи цифрового микроскопа и оценить твёрдость при помощи компьютерной программы по следующей методике:

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

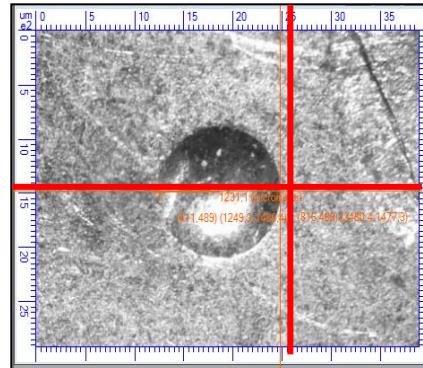
а) Установить образец на столик микроскопа, включить программу Score Photo и вращением рукоятки микроскопа отрегулировать резкость изображения отпечатка на экране монитора (**а**).



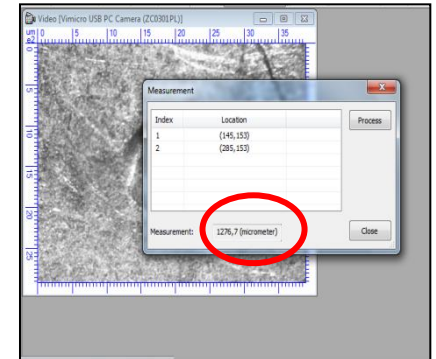
а



в



б

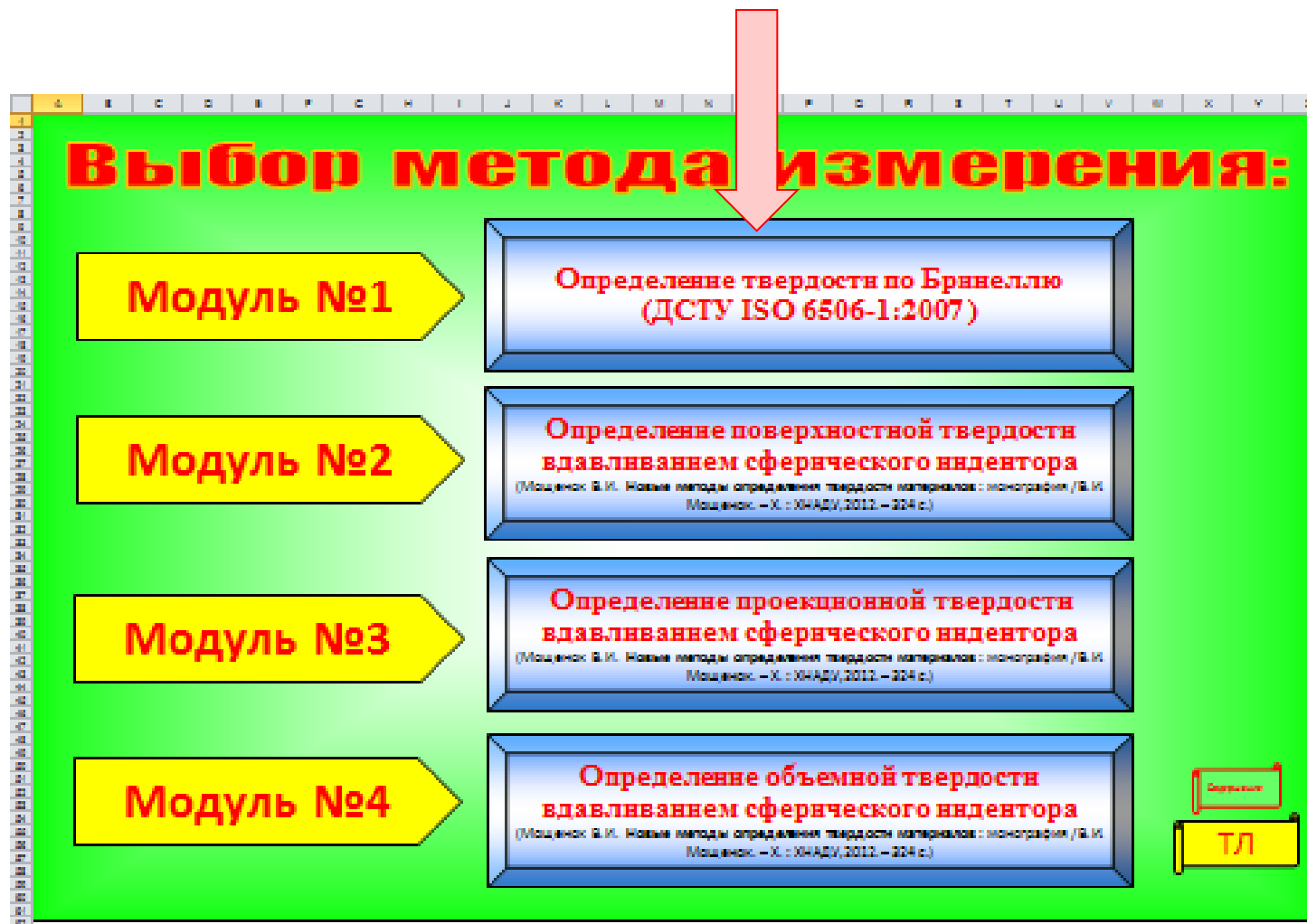


г

б) Совместить перекрестье визирных линий с одним краем отпечатка и щелкнуть левой кнопкой мыши (**б**), затем переместить перекрестье до другого края отпечатка и снова щелкнуть (**в**). На экране появится диаметр отпечатка (**г**). Провести измерения диаметра в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

в) Выбрать метод определения твердости: по Бринеллю.



ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

г) выбрать к какой группе относится исследуемый материал.



ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

д) выбрать диаметр индентора - шарика.

Определение твердости по Бринеллю

**Сталь,
никелевые и титановые
сплавы**

 **10 мм**

 **5 мм**

 **2,5 мм**

 **1 мм**

Содержание

Содержание

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

е) заполнить протокол с результатами измерений и получить среднее значение твёрдости.



ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

6) Сравнить значения твёрдости, полученные при измерении размеров отпечатков различными методами (лупой и цифровым микроскопом).

7) Определить на тех же образцах твердость по Роквеллу по шкале В (таблица 2), сравнить, пользуясь таблицей, значения твердости, определенные на твердомерах Бринелля и Роквелла. При значительных расхождениях повторить измерения.

8) По данным твердости HBW определить содержание углерода в различных образцах стали согласно графику и подсчитать величину временного сопротивления по формуле (таблица 3).

9) Оформить отчёт о работе.

Таблица 2

Результаты измерения твёрдости по Роквеллу

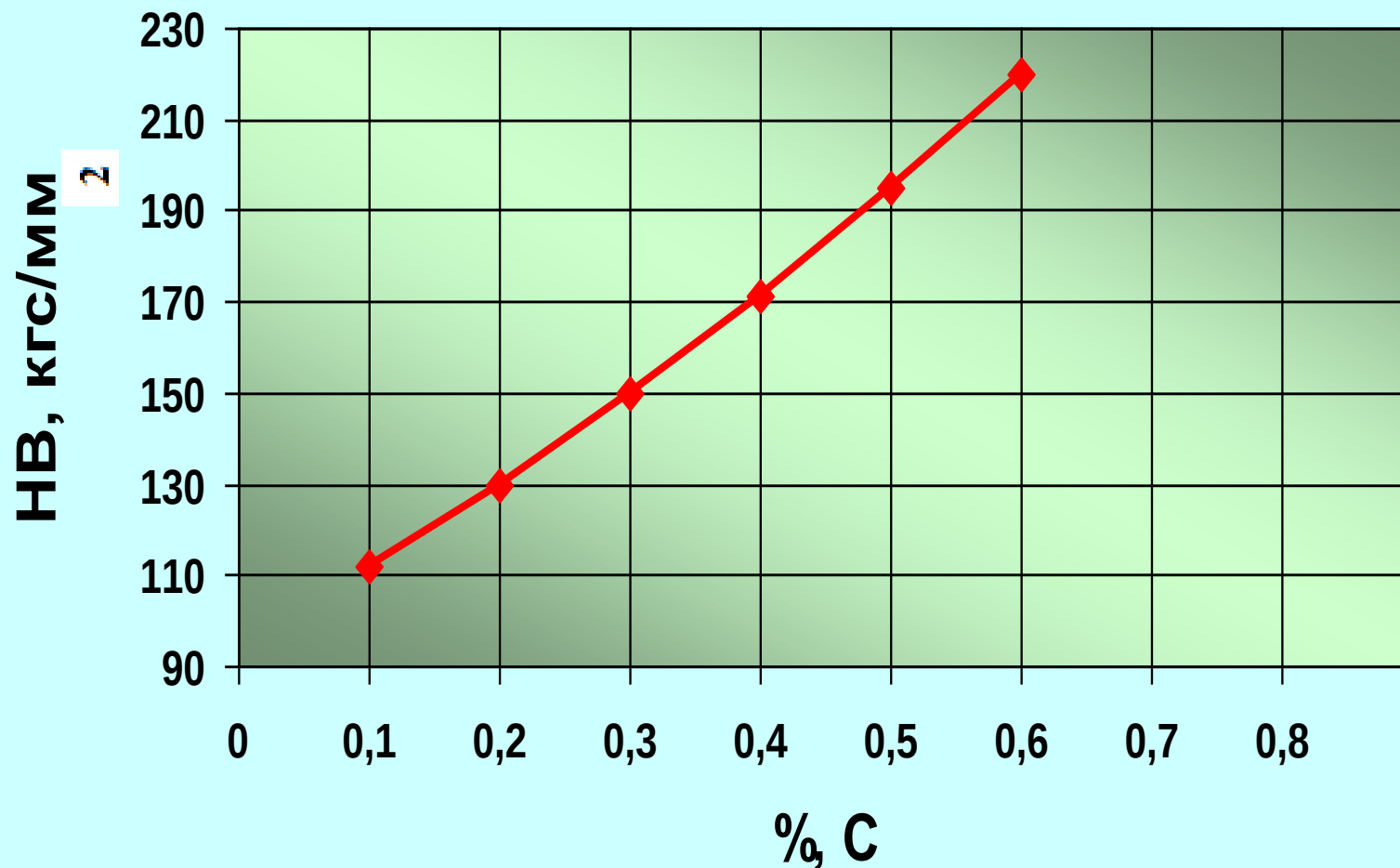
Номер замера	Твердость HRB	Твердость HBW	
		кгс/мм ²	МПа
1			
2			
3			
Среднее значение			

Таблица 3

**Показатели твёрдости, прочности и количества
углерода в отожжённой стали**

Номер образца	Твердость HBW, кгс/мм ²	Содержание углерода, %	Предел прочности σ_B , МПа
1			
2			
3			

Зависимость твердости отожженной стали от содержания углерода



ОТЧЁТ О РАБОТЕ

Отчет о работе должен включать:

- 1) Цель работы;
- 2) Краткое изложение теоретических основ работы;
- 3) Формулу для определения σ_v по данным HBW для сталей в отожженном состоянии;
- 4) Протоколы измерения твёрдости по Бринеллю с использованием компьютерной программы;
- 5) Таблицы 1 и 2 с данными эксперимента, которые составляет каждая подгруппа студентов для своих образцов;
- 6) Обобщенную таблицу 3 для всех отожженных образцов, исследованных студентами различных подгрупп;
- 8) Выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1) Что такое твердость?
- 2) Какие методы определения твердости Вы знаете?
- 3) В чем заключается метод измерения твердости по Бринеллю? В каких единицах она измеряется?
- 4) От чего зависит выбор нагрузки и диаметра шарика при измерении твердости методом Бринелля?
- 5) Какие ограничения имеет метод Бринелля?
- 6) В чем заключается метод измерения твердости по Роквеллу? В каких единицах она измеряется?
- 7) Какие шкалы имеет твердомер Роквелла и когда их используют при измерении твердости?
- 8) Как измеряется твердость по Виккерсу?
- 9) Как можно по твердости определить содержание углерода в стали? Для стали в каком состоянии это возможно?
- 10) Какая связь существует между твердостью и показателями прочности? Для какого состояния стали эти соотношения можно использовать?

ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1) Изучить динамические методы определения твёрдости.

2) Ознакомиться с ультразвуковым методом определения твёрдости.

3) Изучить методику измерения микротвёрдости.

4) Ознакомиться со стандартом ISO 14577 на кинетическую твёрдость.