

Лабораторная
работа №2



Лабораторная работа №2

Использованы материалы из монографии Мощенка В.
И. и методических разработок сотрудников кафедры
ТММ и М

Автор: доц. Глушкова Д.Б.
Lab2_1M_TKMIM_GDB_13.02.15

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЁРДОСТИ МЕТАЛЛОВ

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

Приборы и материалы:

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



Твердость

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

Индентор является наиболее простым и оперативным методом контроля качества материала изделия по механическим свойствам. Он применяется для статического измерения твёрдости исследуемого материала.



При измерении индентор вдавливается в исследуемый материал с некоторой постоянной силой. После снятия нагрузки и удаления индентора измеряются геометрические параметры отпечатка: площадь, глубина, объём и т.п.

Для изготовления инденторов используются следующие материалы: алмаз, твёрдый сплав, закаленная сталь, иногда другие.

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ТВЕРДОСТИ

Методы определения твердости: механические, статистические, немеханические, динамические

По диапазону:

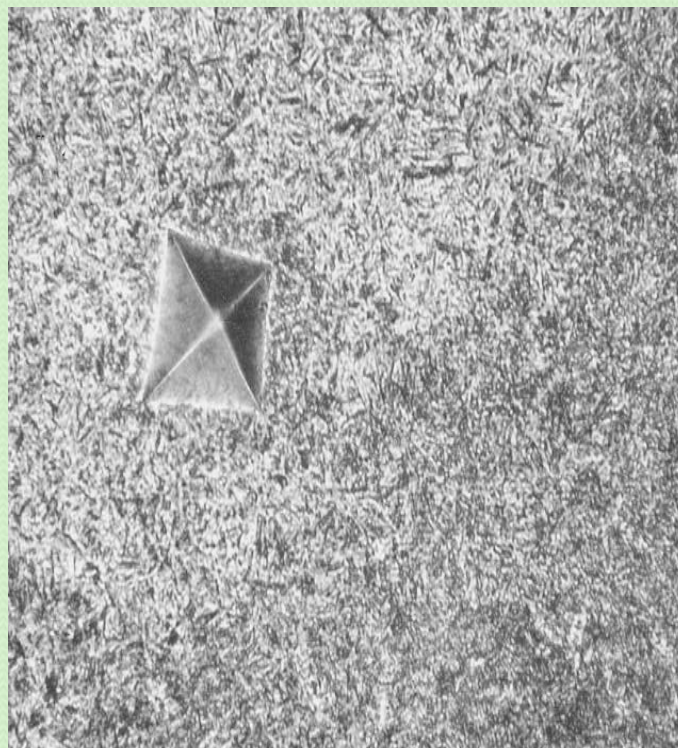
макротвердость

(нагрузка 2Н 30 000Н);

микротвердость

(нагрузка меньше 2Н,
глубина отпечатка
больше 0,2мкм)

нанотвердость (глубина
отпечатка меньше
0,2мкм).



По механизму
нагружения:

статические

методы;

динамические

методы;

кинетическая
твердость.

След от индентора при измерении микротвердости

Выбор участка для испытания микротвердости и определения размеров отпечатка, производят под микроскопом, затем по специальным таблицам пересчитывают так называемое – число твердости

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.



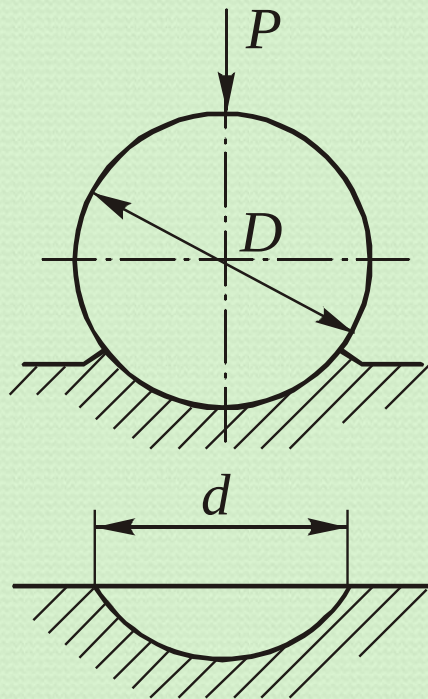
В отличие от многих других, измерения твердости является неразрушающим методом механических испытаний.

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

Твердость по методу Бринелля.

Определение твердости по Бринеллю основано на вдавливании в испытуемый материал стального шарика и последующего измерения диаметра отпечатка.

Размер шарика выбирается в зависимости от толщины испытуемого образца: обычно пользуются шариками стандартных размеров диаметрами в 10 мм, 5 мм или 2,5 мм.



Твердость по Бринеллю (HB) выражается отношением взятой нагрузки P к площади поверхности отпечатка F :

Нагрузка на шарик выбирается в зависимости от рода материала и должна быть пропорциональна квадрату диаметра шарика. Условные стандартные нормы, принятые для различных материалов, следующие: для стали и чугуна

$$P = 30D^2,$$

для меди и медных сплавов

$$P = 10D^2,$$

для баббитов и свинцовистых бронз

$$P = 2,5D^2.$$

Нагрузка считается выбранной правильно, если выдерживается соотношение $0,2D < d < 0,6D$.

МЕТОД БРИННЕЛЛЯ

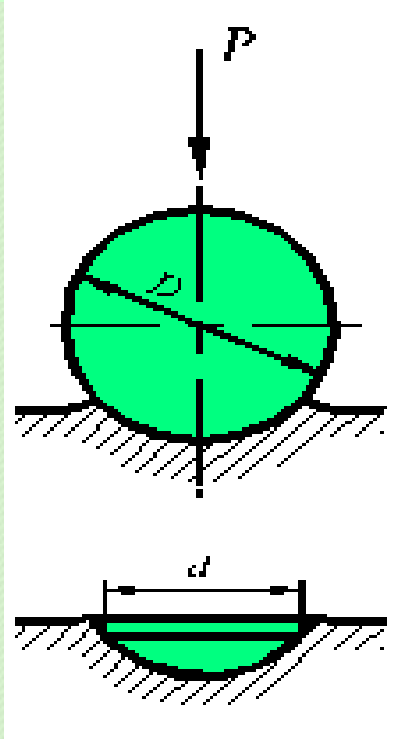
Метод предложил Бринелль - (Brinell) Юхан
Август - шведский инженер

1900 г

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 P к площади поверхности лунки F :

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

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 ее значение в формулу для вычисления площади поверхности шарового

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



Твердомер Бринелля

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

Наиболее распространенным прибором для испытания на твердость этим способом является автоматический рычажный пресс, который получил название **твёрдомера Бринелля**.

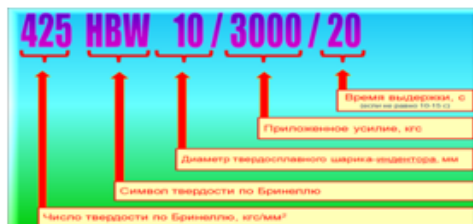
Величину нагрузки и диаметр шарика выбирают в зависимости от свойств материала и толщины испытуемого образца. Регламентируется также время выдержки металла под нагрузкой: 10, 30 или 60 с (чаще всего 30 с). Граница измерения твёрдости по Бринеллю – 650 HBW.

Определение 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

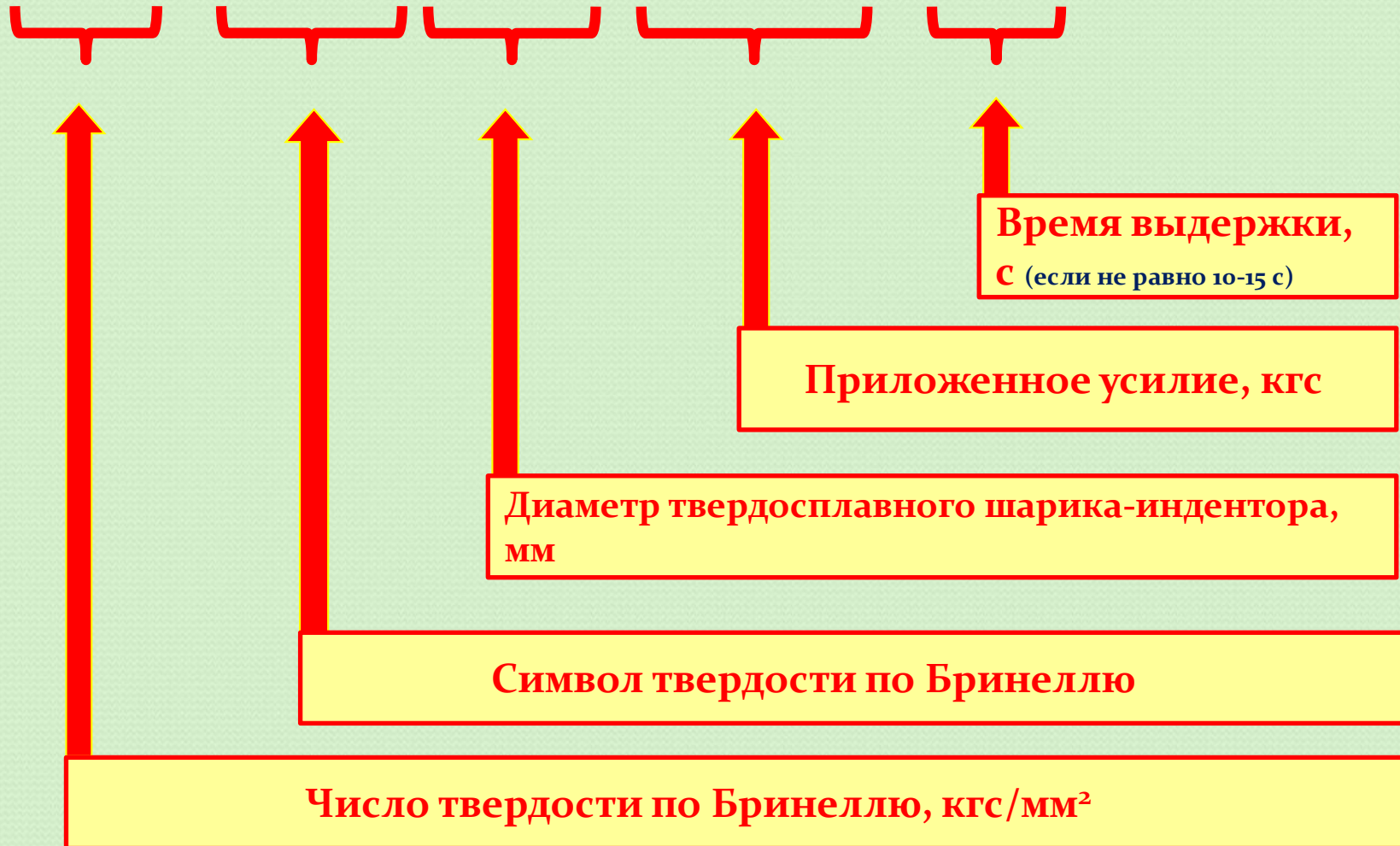
Новое
обозначение твердости по Бринеллю согласно с ДСТУ ISO 6506-1:2007



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



Результаты измерения по Бриннелю

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

МЕТОД ВИККЕРСА

Метод предложен английским военно-промышленным концерном «Vickers Limited». Авторы Смит и Сандленд

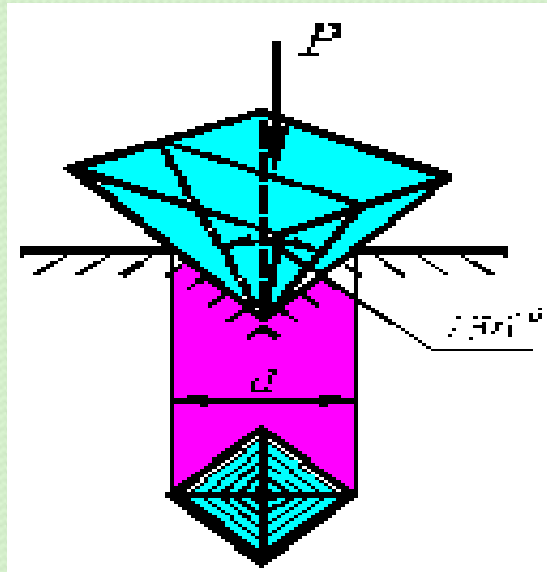
1925 г

МЕТОД ВИККЕРСА

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

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

Твёрдость определяют как отношение нагрузки к площади боковой поверхности отпечатка



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

де d – среднее арифметическое двух диагоналей.

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

Определение твердости 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

ГОСТ 9450-76 Измерение микротвердости
вдавливанием алмазных наконечников.

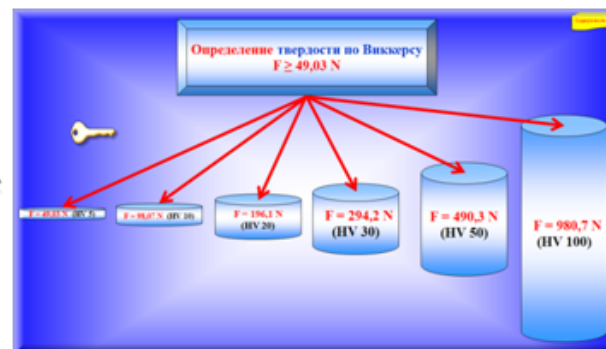
ГОСТ 2999-75 Металлы и сплавы. Метод измерения
твердости по Виккерсу.

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.

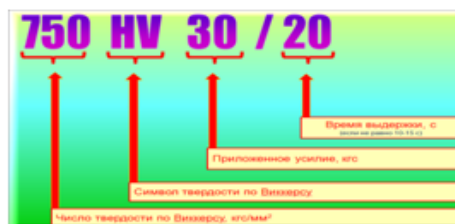
Определение твердости по Виккерсу согласно ДСТУ ISO 6507-1:2007

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 $F, \text{ N}$	Символ твердости	Значение $F, \text{ N}$	Символ твердости	Значение $F, \text{ N}$
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



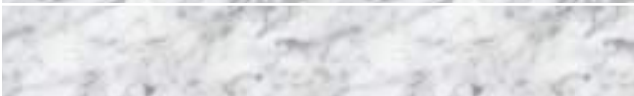
Время выдержки, с
(если не равно 10-15 с)

Приложенное усилие, кгс

Символ твердости по Виккерсу

Число твердости по Виккерсу, кгс/мм²

Результаты измерения по Виккерсу

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

МЕТОД РОКВЕЛЛА

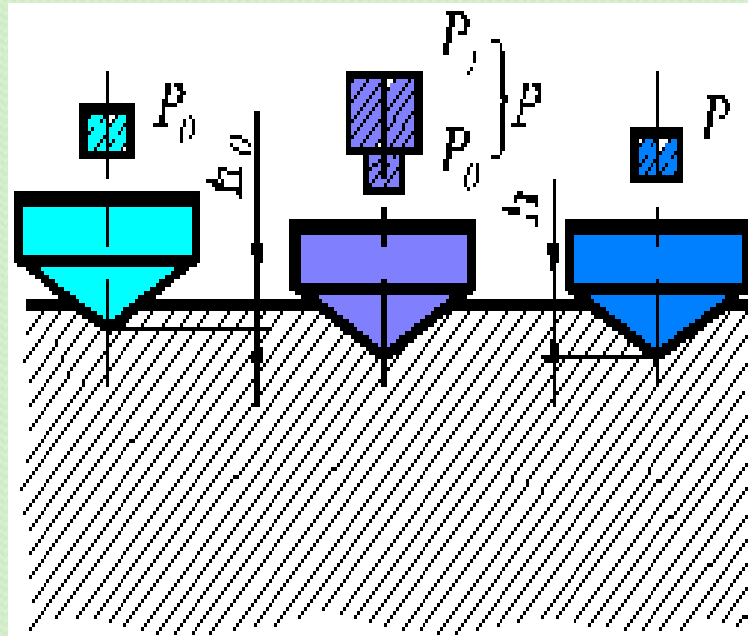
Метод определения твердости
предложил американский металлург
С.П.Роквелл

1920 г

МЕТОД РОКВЕЛЛА

Метод Роквелла является универсальным, он применяется для мягких и твердых материалов.

В приборах для измерения твердости по Роквеллу индентором является стальной шарик диаметром 1,588 мм или алмазный конус с углом при вершине 120° . Прибор имеет три шкалы - А, В и С.



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.

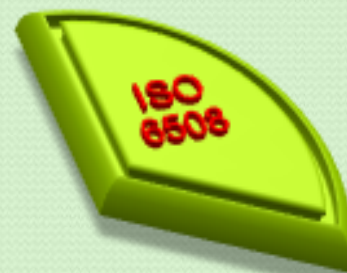
Обозначение твердости по Роквеллу

55

HR

30T

W



Материал индентора:

W – шарик из твердого сплава;

S – шарик из стали;

пусто – алмазный конус

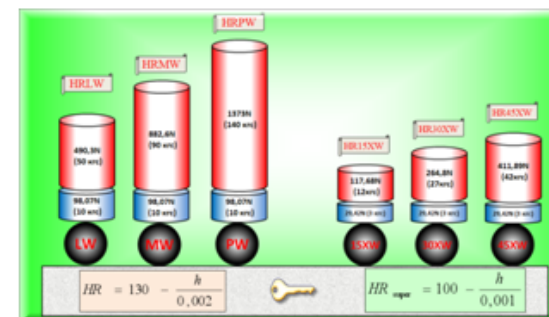
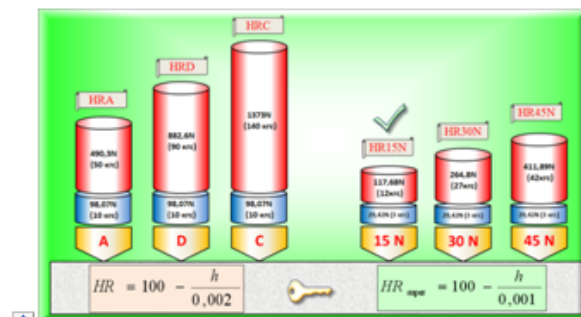
Шкала твердости по Роквеллу

1,588

Символ твердости по Роквеллу

Число твердости по Роквеллу

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
HRHW	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

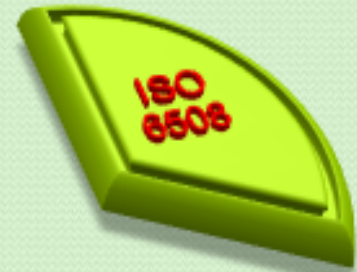
Мощенок
Василий Иванович

Обозначение твердости по Роквеллу

55

HR

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

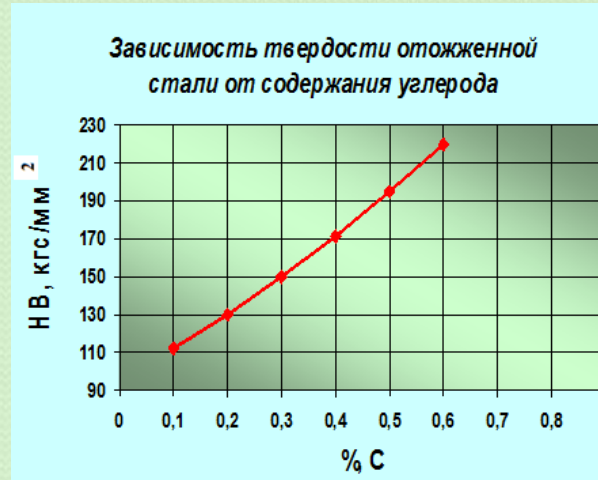
Результаты измерения по Роквеллу

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

СВЯЗЬ МЕЖДУ ТВЁРДОСТЬЮ, ХИМИЧЕСКИМ СОСТАВОМ И ПРОЧНОСТЬЮ 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.

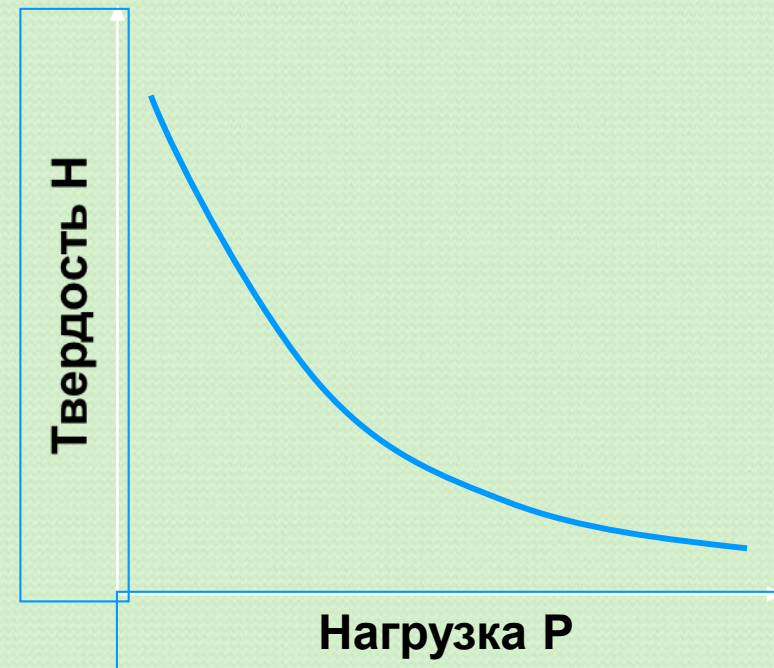
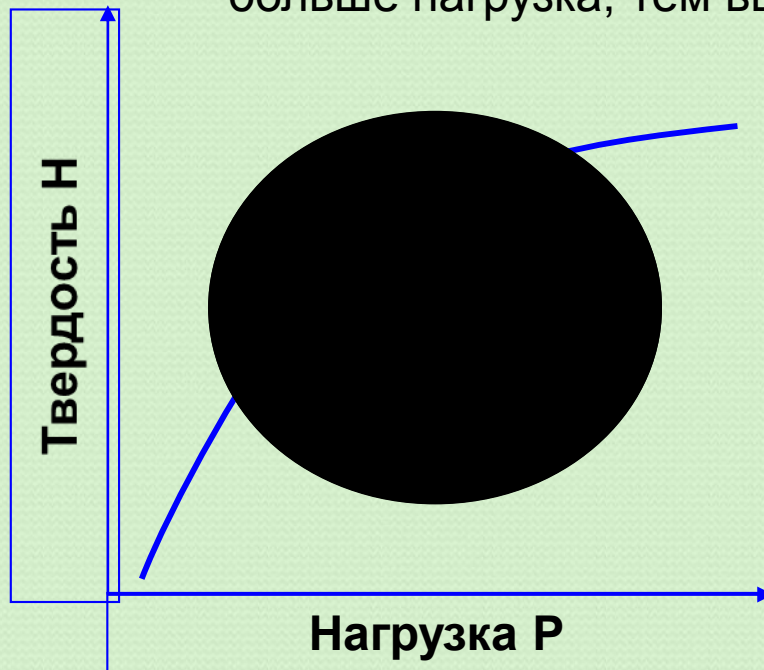
Для стали твердостью от 120 до 170 HBW (при её измерении в кгс/мм²)
 $\sigma_B = 0,34 \text{ HB}$

Если твёрдость от 170 до 450 кгс/мм², то
 $\sigma_B = 0,35 \text{ HB}$

Значение твердости

Значение твердости не является постоянной величиной для данного материала. Оно зависит от условий испытания. 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.

Динамические методы оценки твердости материалов

Динамический метод оценки твердости (косвенный) положен в основу портативных твердомеров.

Преимущества таких твердомеров: низкая стоимость, компактность, мобильность, автоматический пересчет и выдача значения твердости, автономность (не требует наличие электросетей)



Недостатки – наличие погрешности (из-за косвенного метода измерения), калибровка проводится для определенного материала.

От такого индентора остается слабозаметный отпечаток.

Динамические методы оценки твердости материалов

Ультразвуковой портативный твердомер – это стальная стержень с алмазной пирамидкой на конце, который представляет собой акустический резонатор встроенного автогенератора ультразвуковой частоты.



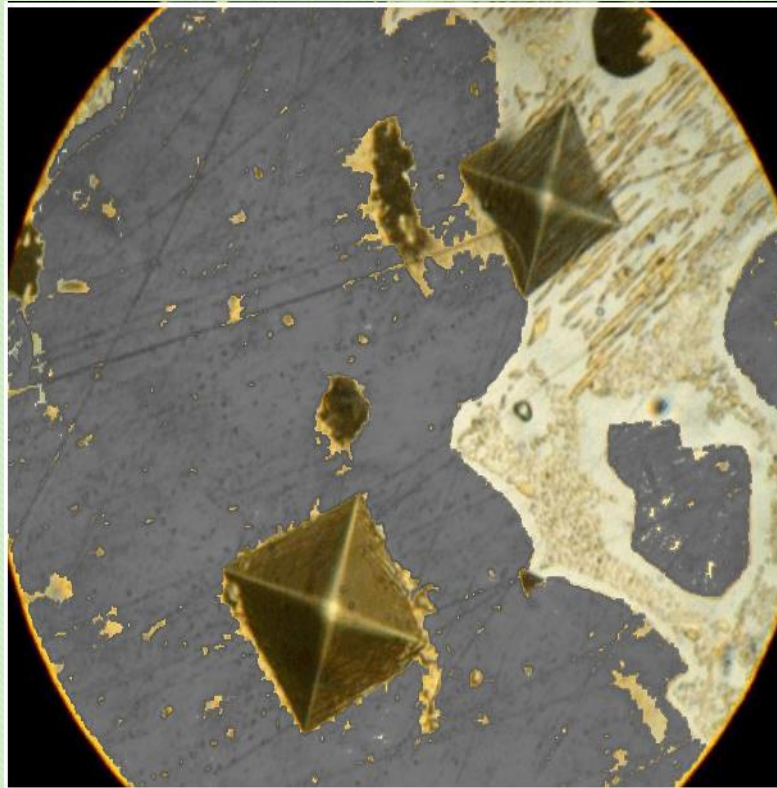
Во время внедрения пирамиды в исследуемое изделие под действием необходимой силы калиброванной пружины, происходит определение значения собственной частоты резонатора, которое определяется твердостью материала.

Динамические твердомеры основаны на принципе измерения отношения скорости индентора при падении и отскоке от поверхности проверяемого изделия.

Микротвердость

Определение микротвердости (твердости в микроскопически малых объемах) необходимо для тонких покрытий, отдельных структурных составляющих сплавов

Прибор для определения микротвердости состоит из механизма для вдавливания алмазной пирамиды с небольшой нагрузкой и металлографического микроскопа. В испытываемую поверхность вдавливают алмазную пирамиду под нагрузкой 0,05...5,00 Н.



Микротвердость определяется идентификацией при нагрузке на индентор не более 2 Н. и при внедрении индентора не меньше чем на 200 нм

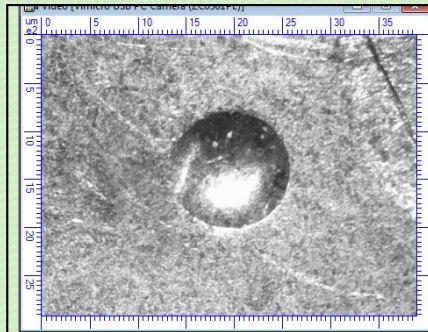
Твердость H определяют по той же формуле, что и твердость по Виккерсу: если P выражена в Н.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

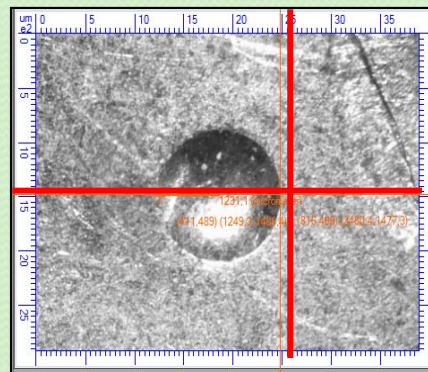
- 1. Ознакомиться с методиками определения твёрдости**
- 2. Ознакомиться с приборами измерения твердости по Бринеллю, Роквеллу и Виккерсу.**
- 3. На образцах стали в отоженном состоянии измерить твердость по Бринеллю (пять измерений на образце).**
- 4. С помощью лупы измерить диаметры каждого отпечатка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

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

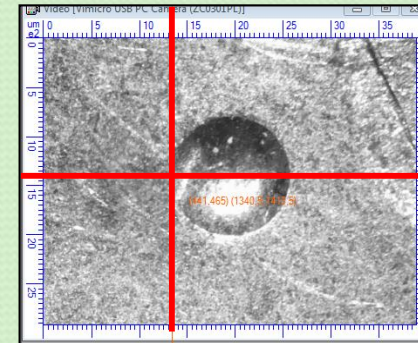
а) Установить образец на столик микроскопа, включить программу Scope Photo и вращением рукоятки микроскопа отрегулировать резкость изображения отпечатка на экране монитора



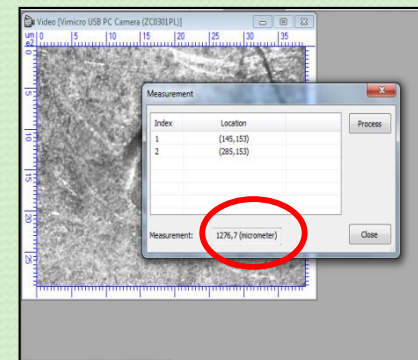
а



б



в

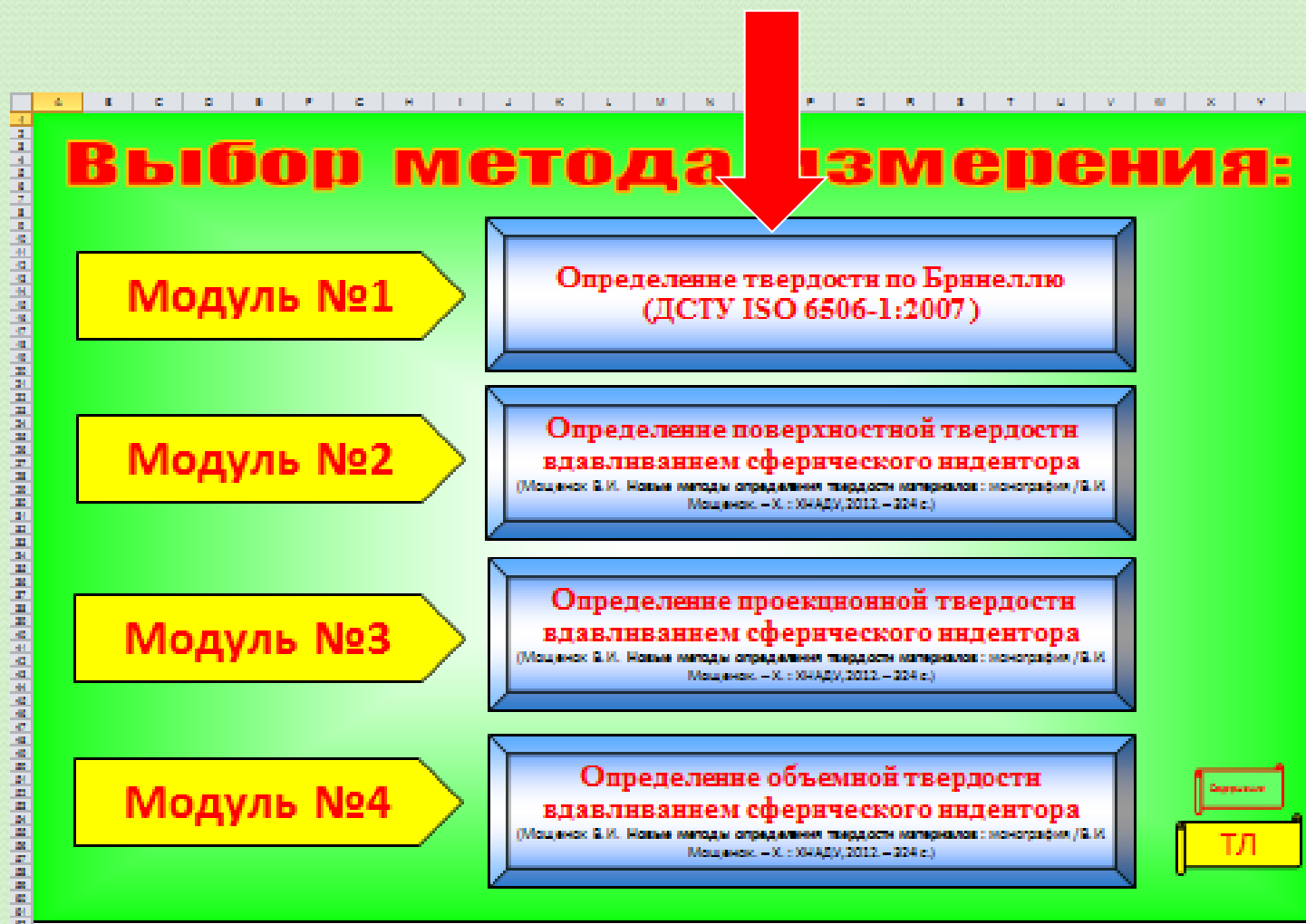


г

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, поверхностная, объемная.



ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

г) выбрать группу материалов



ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

д) выбрать размер шарика.

Определение твердости по Бринеллю

**Сталь,
никелевые и титановые
сплавы**



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.

6. 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.

9. По данным твердости HBW определить содержание углерода в различных образцах стали и подсчитать величину временного сопротивления по формуле 9 (таблица 3).

10. Оформить отчёт о работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое твердость?
2. Какие методы определения твердости?
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. Как измеряется твердость по Виккерсу?
8. Какие шкалы имеет твердомер Роквелла и когда их используют при измерении твердости?
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 [1] с 163-169

2. Изучить методику измерения микротвёрдости [1] с 182-199

3. Изучить методику определения объёмной твёрдости [1] с 80-87

4. Ознакомиться со стандартом ISO 14577.

Использованная литература:

В.И.Мощенок Новые методы определения твердости материалов
Харьков,ХНАДУ, 2012г, 324с.

Гладкий И.П. Технология конструкционных материалов и материаловедение /И.П. Гладкий,В.И.Мощенок,В.П.Тарабанова -
Х.:ХНАДУ,2014.-576с.

Лахтин Ю.М. Материаловедение: учебн. для машиностроительных вузов/Ю.М.Лахтин,В.П.Леонтьева.-М.:Машиностроение,1990.-528с.



Кафедра технології металів і матеріалознавства

E-mail diana.borisovna@gmail.com

**Автор: доц. Глушкова Д.Б.
Lab2_1M_TKMIM_GDB_13.02/10**