

Лабораторная работа
№ 3



«ТКМ и материаловедение»

Определение ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОВ

Доцент Дощечкина И.В.
Доцент Костина Л.Л.



Лабораторная работа №1

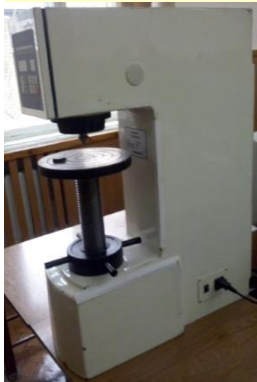
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЁРДОСТИ МАТЕРИАЛОВ

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.

Микроскоп цифровой, компьютер и программа Scope Photo



Твердомер Бринелля UIT HBW-1



Твердомер Роквелла «микротех»



Лупа для измерения диаметров отпечатков

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

ул. Петровского, 25 ХМАДУ, корп.Т1401, Харьков, Украина, 61002

Поддержка: ЗАО НПО "Лазеротехнология Украины"

Телефон: 044 230 1111 "Институт метрологии"

Україна
Український національний автомобільно-дорожній університет
1931

Стационарные твердомеры

Переносной измерительный комплекс

Определение твердости материалов вдавливанием сферического индентора

Выбрать метод измерения

Компьютерная программа определения твёрдости материалов вдавливанием сферического индентора



Теоретические основы работы

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ТВЕРДОСТИ

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

Методы оценки твердости делятся по нескольким признакам

По диапазону:

- макротвердость (нагрузка $2H \leq F \leq 30000N$);
- микротвердость (нагрузка меньше $2H$, глубина отпечатка больше $0,2\text{мкм}$)
- нанотвердость (глубина отпечатка меньше $0,2\text{мкм}$).

По механизму нагружения:

- статические методы;
- динамические методы;
- кинетическая твердость.

Наименование диапазона	Величина применяемых нагрузок на индентор F, N	Величина внедрения индентора в исследуемый материал $h, \text{мкм}$
Макродиапазон	$2H \leq F \leq 30000$	не регламентировано
Микродиапазон	$F < 2$	$h > 0,2$
Нанодиапазон	не регламентировано	$h \leq 0,2$

Измерение твердости - наиболее простой и оперативный метод контроля качества материала изделия по механическим свойствам



КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ТВЕРДОСТИ

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 отдельных фрагментов детали (например, участков сварного шва) и тонких поверхностных слоев.

Методом микротвердости можно оценить твердость отдельных структурных составляющих.



МЕТОД БРИНЕЛЛЯ

1900 г

Метод предложил
Бринелль (Brinell)
Юхан Август -
шведский инженер

30 шкал

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.



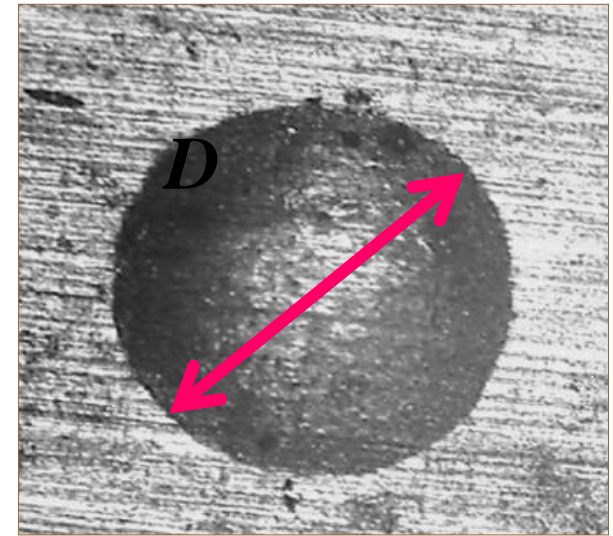
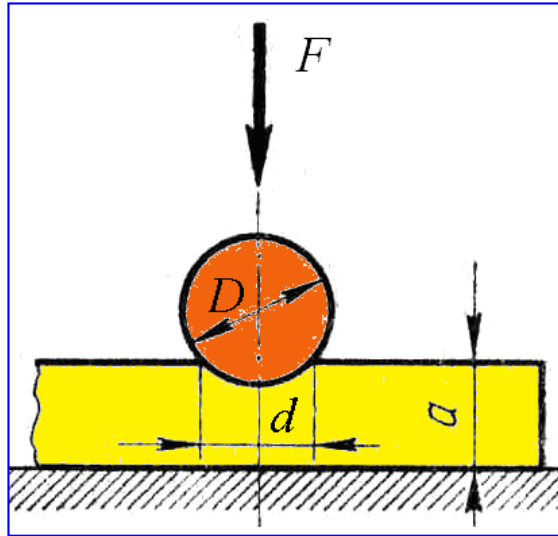
HBW 10/3000
HBW 10/1500
HBW 10/1000
HBW 10/500
HBW 10/250
HBW 10/125
HBW 10/100
HBW 5/750
HBW 5/250
HBW 5/125
HBW 5/62,5
HBW 5/31,25
HBW 5/25
HBW 2,5/187,5
HBW 2,5/62,5
HBW 2,5/31,25
HBW 2,5/15,625
HBW 2,5/7,8125
HBW 2,5/6,25
HBW 2/187,5
HBW 2/62,5
HBW 2/31,25
HBW 2/15,625
HBW 2/7,8125
HBW 1/30
HBW 1/10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



МЕТОД БРИНЕЛЛЯ

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

После снятия нагрузки с помощью специальной лупы или цифрового микроскопа измеряют диаметр отпечатка d , который остается на поверхности образца.



Величину твердости по Бринеллю определяют как отношение усилия вдавливания P к площади поверхности лунки F :

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



МЕТОД БРИНЕЛЛЯ

Твердость по Бринеллю имеет размерность напряжения **кг/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 сегмента, получают выражение для определения твердости как частного от деления нагрузки на указанную площадь

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

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 **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.



МЕТОД ВИККЕРСА

1925 г

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

>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.



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



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 кг. 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 (кг/мм² или МПа).

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



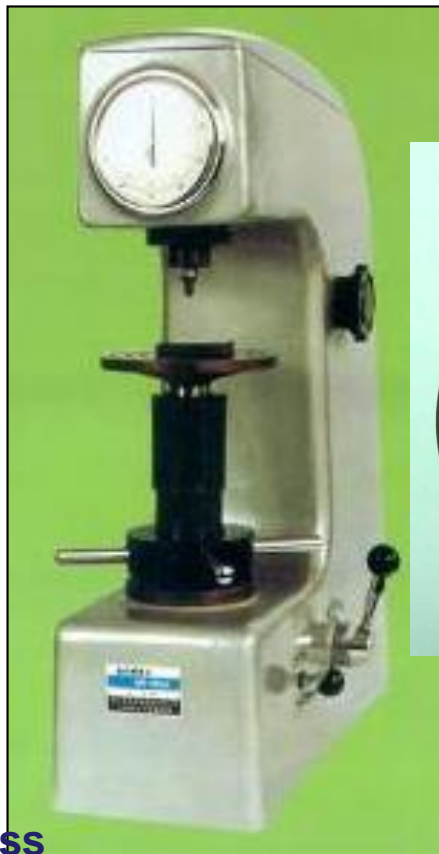
1920 г

МЕТОД РОКВЕЛЛА

Метод определения
твердости предложил
американский
металлург С.П.Роквелл

30

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.



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

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

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.



Алмазный
конус



Шарик
Ø1,588
мм

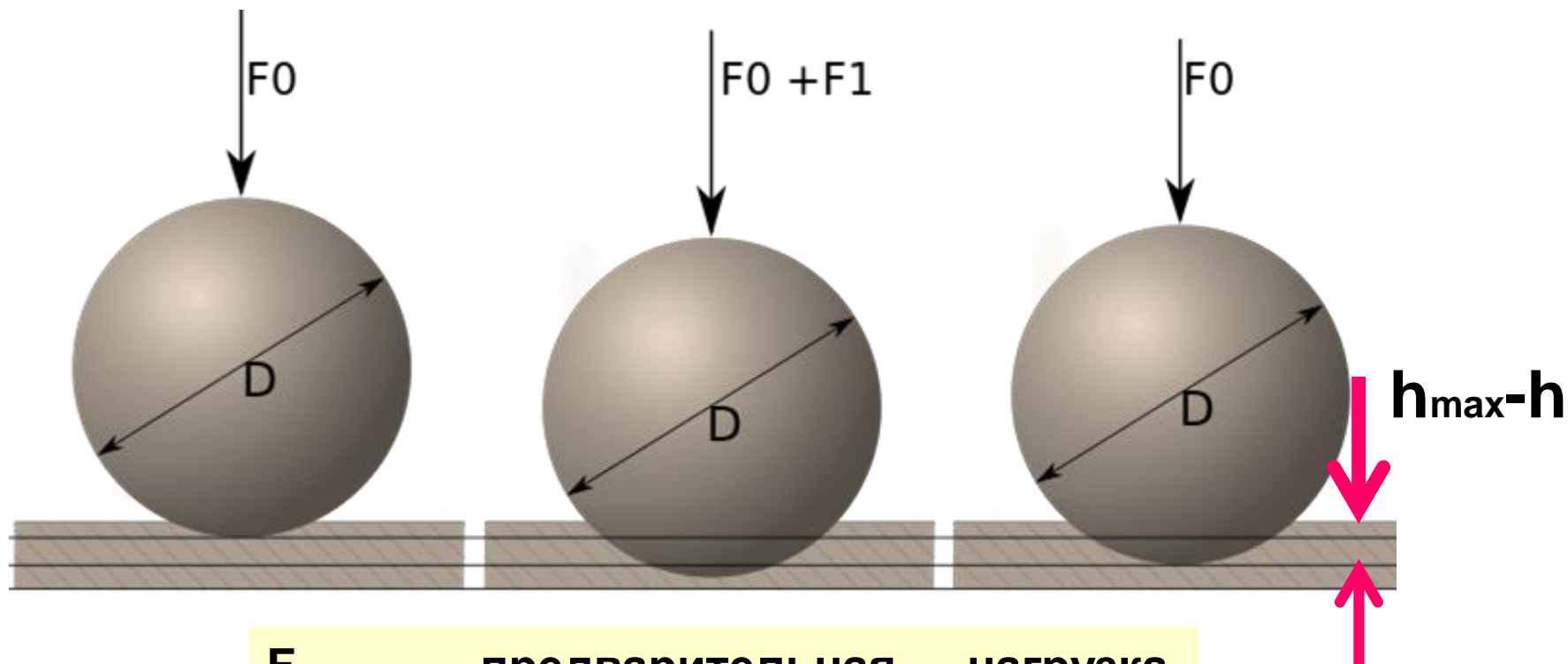
При измерении алмазным конусом используются шкалы А и С и твердость обозначается HRA, HRC соответственно. При измерении стальным шариком используют шкалу В, а твердость обозначают HRB.

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) Приложить предварительную нагрузку в 10 кгс. 2) Приложить основную нагрузку и дождаться до приложения максимального усилия. 3) Снять основную нагрузку. 4) Прочтеть на циферблате по шкале прибора значение твёрдости.



F_0 – предварительная нагрузка,
 F_1 – основная нагрузка.



МЕТОД РОКВЕЛЛА

Нагрузка на индентор зависит от твердости материала, то есть от того, по какой шкале она измеряется:

Шкала	Обозначение	Индентор	Нагрузка Р, кгс
A	HRA	Алмазный конус	60
B	HRB	Стальной шарик	100
C	HRC	Алмазный конус	150

Твердость по Роквеллу определяется глубиной внедрения индентора и является безразмерным числом, которое представляется перед символом, обозначающий метод испытания и шкалу, например, 50 HRC.

Установлены следующие границы твердости по Роквеллу:
HRB - 25-100,
HRC - 20-67,
HRA - 70-85.

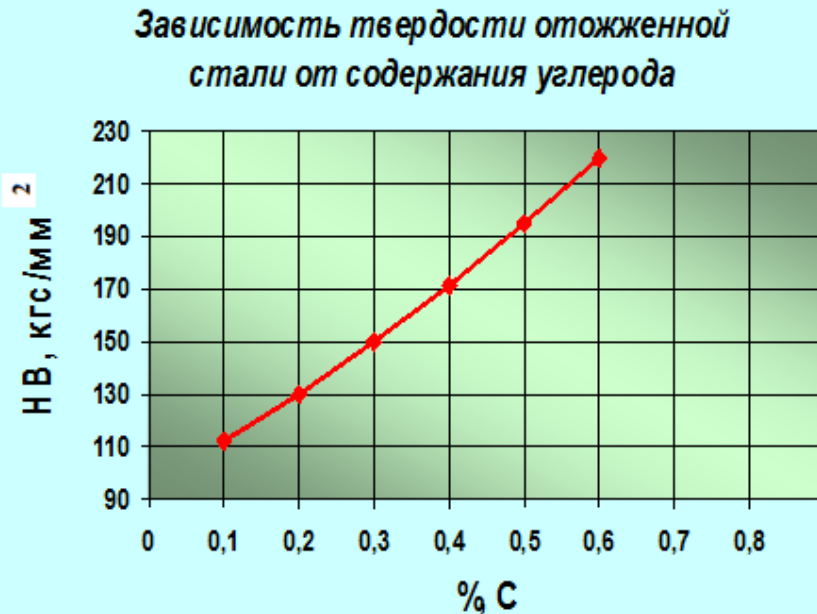
Отпечатки на поверхности детали имеют небольшие размеры и практически не влияют на дальнейшую эксплуатацию изделия.



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 пропорционально.

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)
Если твёрдость от 170 до 450 кгс/мм², то

$$\sigma_B = 0,34 HB$$

$$\sigma_B = 0,35 HB$$



СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ЧИСЕЛ ТВЁРДОСТИ

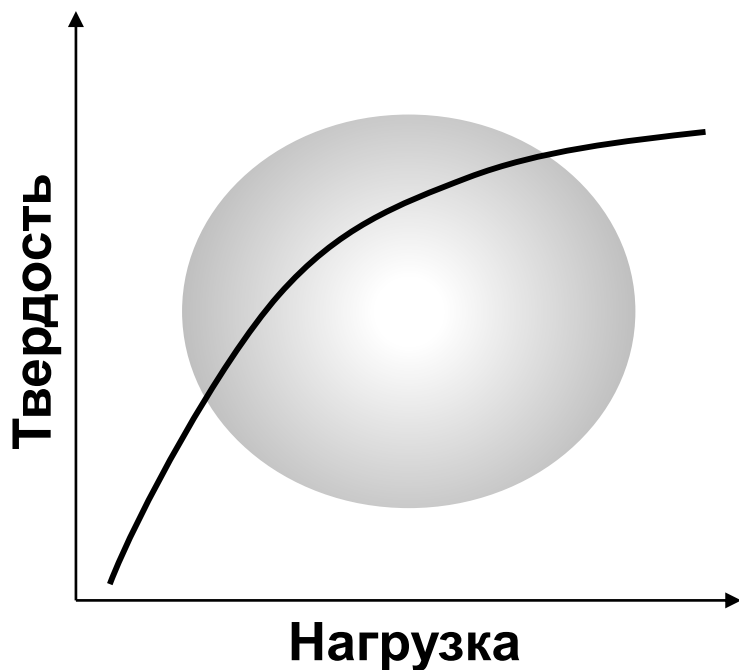
Сравнительные значения чисел твердости (Маянц А.Ю., 1 версия 25.01.03г.)

Твердость по Бринеллю (ГОСТ 9012-59)	Твердость по Виккерсу (ГОСТ 2999-75)	Твердость по Роквеллу (ГОСТ 9013-59)					Твердость по Шору (ГОСТ 23273-78)
		HRC			HRA		
HB	HV	HRC	HRB	HRA	HRC _a (ГОСТ 8.064-94)	HSh	
437	458	46	-	73.5	47.5	-	
429	-	-	-	-	-	62	
426	446	45	-	73	46.5	-	
415	435	44	-	72.5	45.5	61	
401	-	-	-	-	-	59	
393	413	42	-	71.5	43.5	-	
388	-	-	-	-	-	57	
375	-	-	-	-	-	56	
372	393	40	-	70.5	41.5	-	
363	-	-	-	-	-	54	
352	373	38	-	-	39.5	53	
341	-	-	-	-	-	51	
332	353	36	-	-	37.5	50	
321	-	-	-	-	-	49	
312	334	34	-	-	35.5	47	
302	-	-	-	-	-	46	
297	317	32	-	-	34	-	
293	-	-	-	-	-	45	
290	-	-	-	-	-	-	
283	301	30	-	-	32	44	

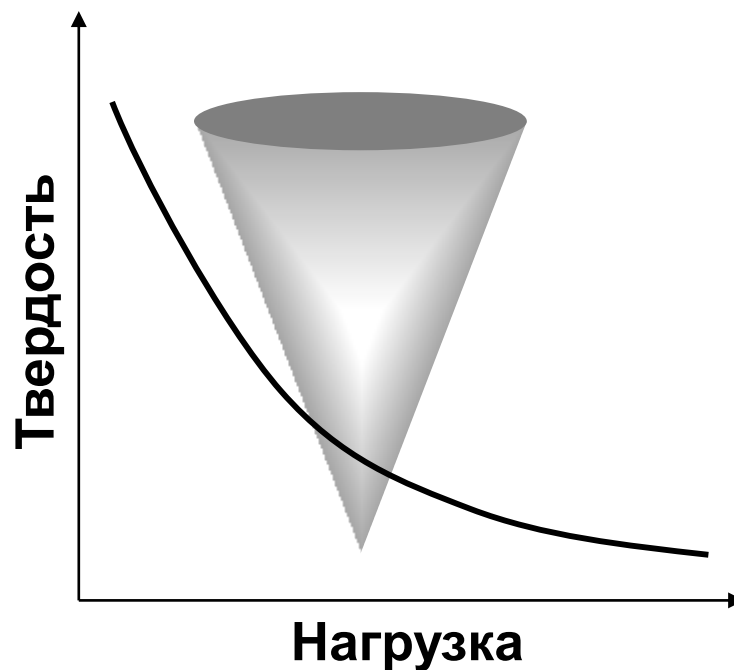
ЗАВИСИМОСТЬ ТВЁРДОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ИСПЫТАНИЯ

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.

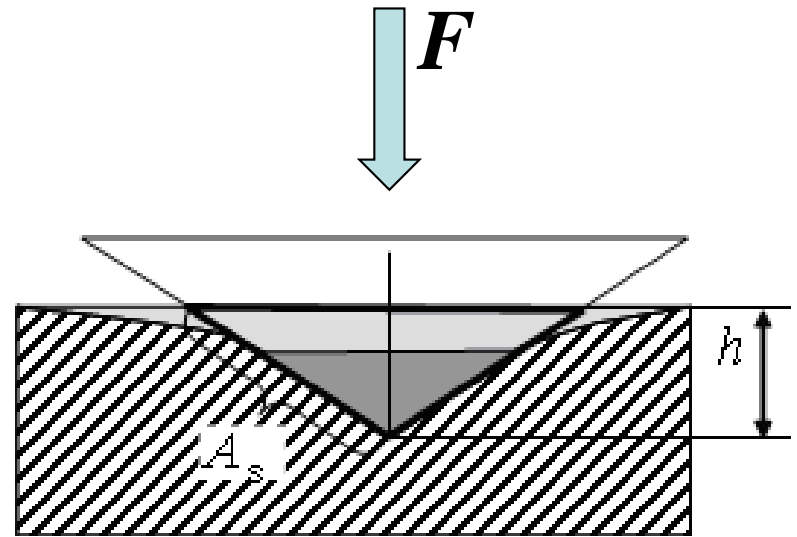


ПОВЕРХНОСТНАЯ И ОБЪЁМНАЯ ТВЁРДОСТЬ

Поверхностная твёрдость определяется как отношение силы сопротивления к площади поверхности внедрённой части индентора.

Для трёхгранной пирамиды Берковича поверхностная твёрдость определяется по формуле:

Объёмная твердость определяется как отношение силы сопротивления к объему внедрённой части индентора.



$$H_{нов} = \frac{F}{A_s} = \frac{F}{26,97 \cdot h^2}$$



ISO 14577 :2002

ISO 14577-1 Metallic materials - Instrumented indentation test for hardness and material parameters - Part 1: Test method

CHF 112

ISO 14577-2 Metallic materials - Instrumented indentation test for hardness and material parameters - Part 2: Verification and calibration of testing machines

CHF 106

ISO 14577-3 Metallic materials - Instrumented indentation test for hardness and material parameters - Part 3: Calibration of reference blocks

CHF 66

ISO 14577-4 Metallic materials - Instrumented indentation test for hardness and materials parameters -- Part 4: Test method for metallic and non-metallic coatings

CHF 112



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 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 твердости по Бринеллю***

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

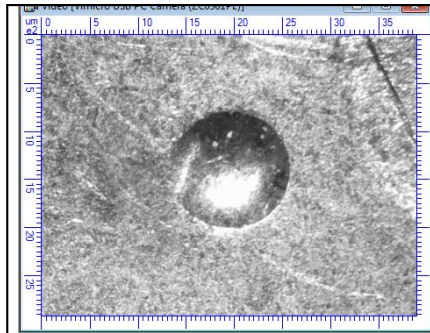
***измерение размеров отпечатков производится при помощи лупы**

5. Произвести измерение отпечатков при помощи цифрового микроскопа и определить твердость при помощи компьютерной программы по следующей методике:

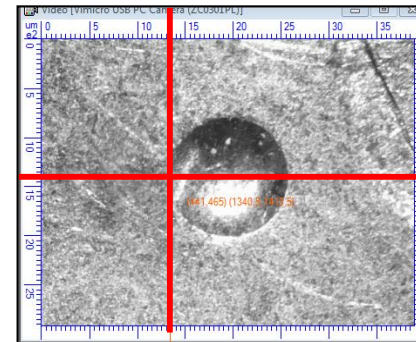


ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

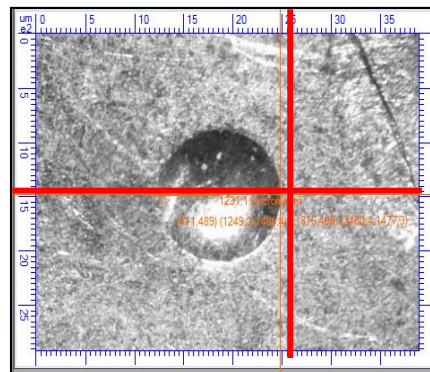
а) Установить образец на столик микроскопа, включить программу Score Photo и вращением рукоятки микроскопа отрегулировать резкость изображения отпечатка на экране монитора.



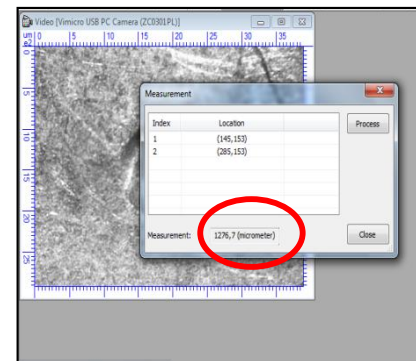
а



в



б



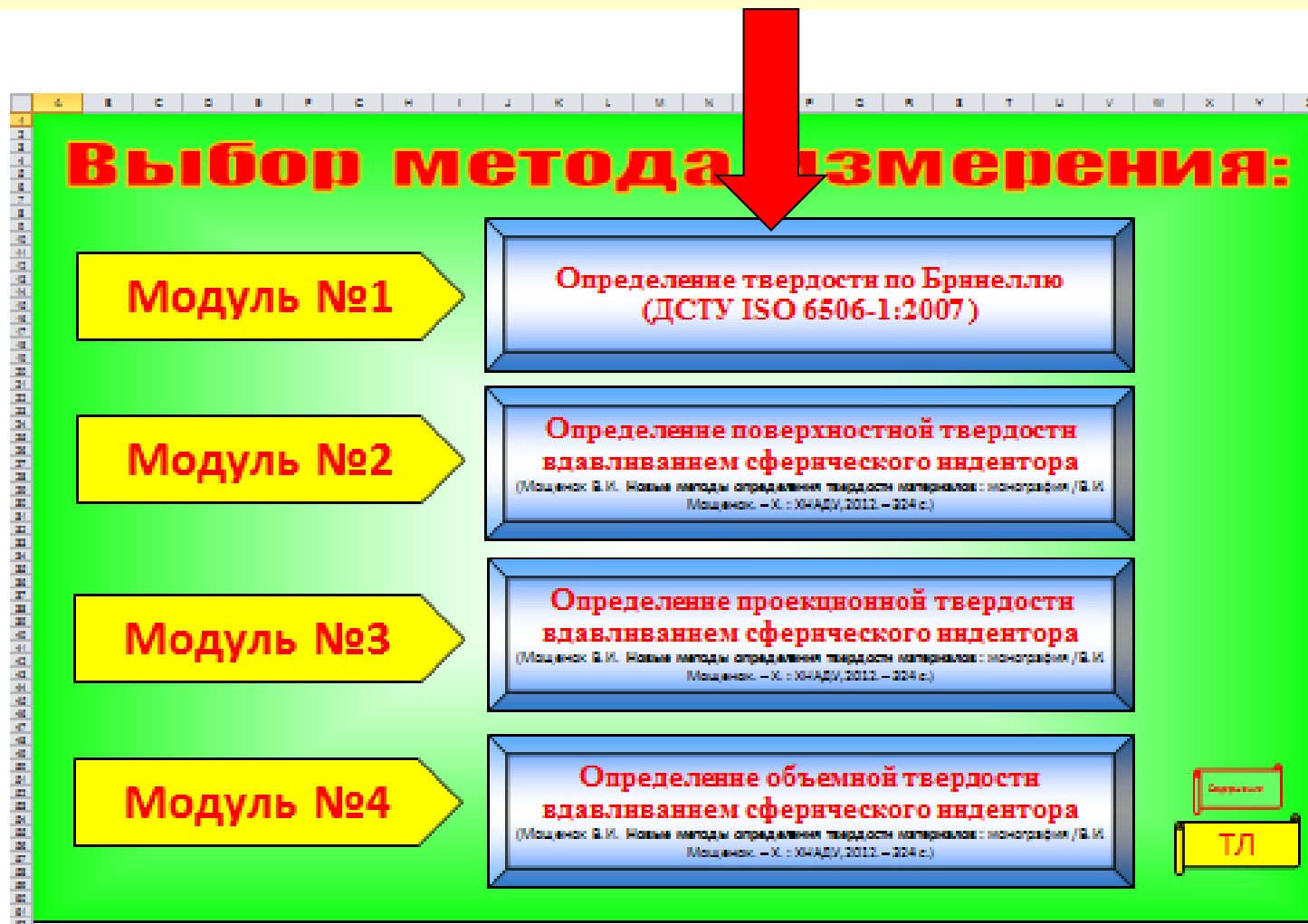
г

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, поверхностная, объемная.



ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

г) выбрать группу материалов.



д) выбрать размер шарика.



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.



Таблица 2

Результаты измерения твёрдости по Роквеллу

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



Таблица 3

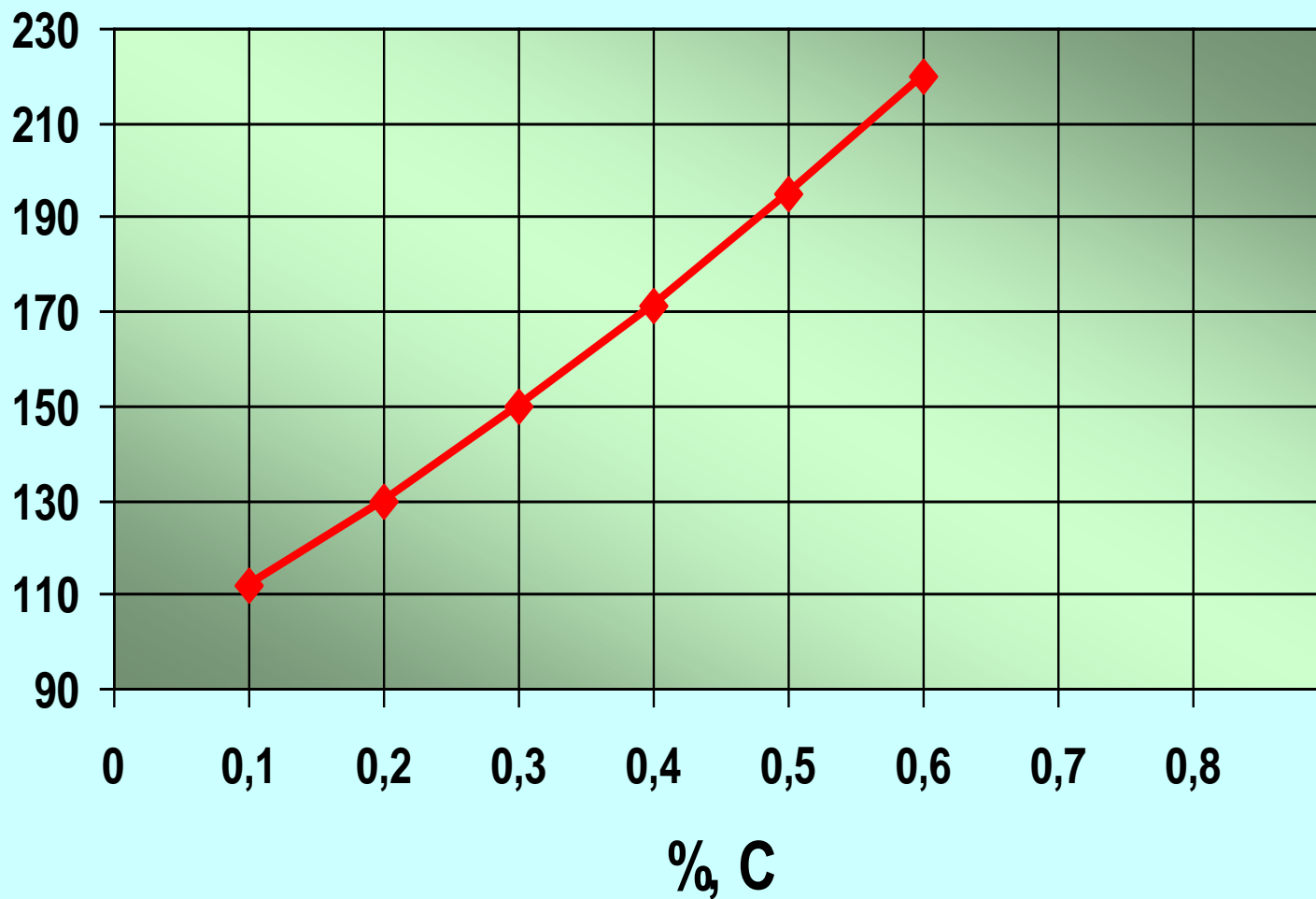
**Влияние количества углерода
в стали на твердость HBW и временное
сопротивление разрушению σ_B**

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



Зависимость твердости отожженной стали от содержания углерода

2
НВ, КГС/ММ



ПОРЯДОК ОФОРМЛЕНИЯ ОТЧЁТА

Отчет должен включать:

- 1) цель работы;
- 2) краткое изложение теоретических основ работы;
- 3) формулу для определения $\sigma_{\text{в}}$ по данным НВW для сталей в отожженном состоянии;
- 4) протоколы измерения твёрдости по Бринеллю по компьютерной программе;
- 5) график зависимости твердости отоженной стали от содержания углерода;
- 6) таблицы 1 и 2 с данными эксперимента, которые составляет каждая подгруппа студентов для своих образцов;
- 7) обобщенную таблицу 3 для всех отожженных образцов, исследованных студентами различных подгрупп;
- 8) Выводы.



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.

2. Ознакомиться с ультразвуковым методом определения твёрдости.

3. Изучить методику измерения микротвёрдости.

4. Изучить методику определения объёмной твёрдости.

5. Ознакомиться со стандартом ISO 14577 .





Кафедра технології металів и матеріалознавства

Костина Людмила Леонидовна

E-mail: kost19533591@mail.ru

г. Харьков, ул. Петровского, 25, ХНАДУ, КАФЕДРА ТМ и М

Tel.(8-057)707-37-92

