



УДК 531.001.5:006.91

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ ИНДЕНТОРА ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ТВЕРДОСТИ

Я.С. Довженко, ведущий инженер ННЦ "Институт метрологии", г. Харьков

К.П. Нежмаков, инженер ННЦ "Институт метрологии", г. Харьков

В.В. Скляр, кандидат технических наук, ученый секретарь ННЦ "Институт метрологии", г. Харьков



Я.С. Довженко

К.П. Нежмаков

В.В. Скляр

Проведены экспериментальные исследования влияния угла и радиуса алмазного конуса и угла правильной четырехгранной алмазной пирамиды на результаты измерений твердости по шкалам Роквелла и Виккерса. Представлена зависимость результатов измерений твердости от различных комбинаций геометрии инденторов.

There were carried out the experimental researches of the influence of angle and radius of adamantine cone and the angle of regular four-sided pyramid on the results of hardness measurements by means of Rockwell and Vickers scales. There was presented the dependence of the results of hardness measurements from different combinations of indenter geometry.

Введение

Среди известных методов определения твердости наиболее распространенными являются методы по шкалам Бринелля, Виккерса и Роквелла. Из них наиболее распространенным в промышленности является определение твердости по шкале Роквелла. Кроме того, из принятых в соответствии с ISO 6508-1 [1] шкал Роквелла в промышленной практике распространены шкалы с использованием алмазного индентора: HRC, HRA, HRN.

Среди составляющих погрешности при измерении твердости влияние индентора занимает одно из основных мест, наряду с установкой для создания нагружения на индентор и мерой твердости, на которой и выполняется отпечаток. При проведении измерений твердости высшей точности с применением государственных эталонов важно

знать фактор влияния индентора на результат измерений.

Экспериментальные исследования выполнялись на государственном первичном эталоне единиц твердости по шкалам Роквелла и Супер-Роквелла (ДЕТУ 02-04-99), представленном на рис. 1 [2].

Диапазон суммарных нагрузок, воспроизводимых ДЕТУ 02-04-99, составляет от 3 кгс (29,42 Н) до 150 кгс (1471 Н). Высокая точность воспроизводимых нагрузок обеспечена аттестацией гирь, которые создают нагрузку, на государственном первичном эталоне единицы массы (ДЕТУ 02-01-96). Перемещение и внедрение индентора контролируются системой, аттестованной на государственном первичном эталоне единицы длины (ДЕТУ 01-03-98). Процесс измерения твердости автоматизирован и контролируется блоком управления с регистрацией данных измерений в базе данных эталона. Среднее квадратическое отклонение результата измерений составляет по шкале Роквелла $S=0,08$ HR и Супер-Роквелла $S=0,16$ HR, неисключенная систематическая погрешность $\Theta=0,25$ HR по шкале Роквелла и $\Theta=0,5$ HR по шкале Супер-Роквелла при доверительной вероятности $p=0,99$.



Рис. 1. Государственный первичный эталон единиц твердости по шкалам Роквелла и Супер-Роквелла

Таблица 1

Параметр	Значение
Разрешение в режиме высокого вакуума, нм	4
Разрешение в режиме низкого вакуума, нм	6
Диапазон регулирования увеличений	от 15 до 300000
Максимальный размер объекта, мм	50
Диапазон перемещений объекта: по координатам X, Y, мм по координате Z, мм наклон, ° поворот, °	±25 50 от 20 до 60 360
Диапазон измерений линейных размеров, мкм	от 0,2 до 5000
Пределы допускаемой основной погрешности измерений линейных размеров, не более: в диапазоне от 0,2 до 0 мкм, нм в диапазоне от 0,8 до 5000 мкм, %	±40 ±4

Исследование геометрии инденторов

В соответствии с ГОСТ 9377-81 [3], алмазные наконечники к приборам для измерения твердости по методу Роквелла представляют собой алмазный конус с углом при вершине $(120 \pm 0,5)^\circ$ и радиусом закругления $(0,2 \pm 0,005)$ мм, по методу Виккерса – четырехгранную алмазную пирамидку с углом при вершине между противоположными гранями $(136 \pm 0,5)^\circ$.

Исследования геометрии инденторов проводились на растровом измерительном микроскопе с камерой низкого давления типа РЭМ-106И. Технические характеристики РЭМ-106И представлены в табл. 1.

При исследовании алмазных конусов Роквелла были получены значения углов и диаметров, представленные в табл. 2.

При исследовании четырехгранных алмазных пирамид Виккерса были получены значения угла, представленные в табл. 3.

Исследование инденторов при приложении нагрузок

Для определения влияния различных геометрических параметров на значения твердости матери-

Таблица 2

Номер индентора	Угол конуса, °	Диаметр наконечника, мм
945	119,637	0,2103
1048	119,428	0,1924
2111	120,247	0,1965
3524	120,358	0,2096

Таблица 3

Номер индентора	Угол пирамидки, °
464	136,588
803	136,235
1138	136,856
12392	136,228

ла были проведены исследования на ДЕГУ 02-04-99 с приложением различных нагрузок и применением рабочих эталонов твердости (далее – “мер твердости”), аттестованных согласно [1]. Значения измеренной

Таблица 4

№ п/п	Измерения для меры твердости 31 HRC			
	Номер индентора			
	945	1048	2111	3524
1	32,77	31,78	33,75	34,07
2	32,32	31,23	33,54	33,48
3	32,60	31,78	33,07	34,74
4	32,48	32,91	33,28	34,43
5	32,44	32,84	32,97	34,52
Среднее	32,52	32,11	33,32	34,25

Таблица 5

№ п/п	Измерения для меры твердости 40 HRC			
	Номер индентора			
	945	1048	2111	3524
1	41,39	41,13	41,51	42,63
2	41,62	41,47	42,12	41,87
3	41,54	41,32	41,34	42,31
4	41,89	42,05	41,82	42,82
5	42,18	41,62	42,31	42,25
Среднее	41,72	41,52	41,82	42,38

Таблица 6

№ п/п	Измерения для меры твердости 63 HRC			
	Номер индентора			
	945	1048	2111	3524
1	63,76	63,43	64,12	65,12
2	63,58	62,74	64,51	64,98
3	63,67	63,06	63,44	65,02
4	63,96	63,61	64,31	65,27
5	63,59	63,22	64,52	65,52
Среднее	63,71	63,21	64,18	65,18

твердости по шкале Роквелла и Супер-Роквелла, с применением различных мер твердости, представлены в табл. 4–6.

Зависимость твердости от угла индентора и радиуса закругления наконечника для различных мер твердости по шкале Роквелла представлена рис. 2–4.

На рис. 2–4 видно, что больший радиус наконечника индентора, как и больший угол конуса, приводят к увеличению измеренного значения твердости. Кроме того, видно, что увеличение угла конуса вносит больший вклад в изменение измеренных значений твердости, чем увеличение радиуса наконечника.

Значения измеренной твердости по шкале Виккерса, с применением различных мер твердости, представлены в табл. 7, 8.

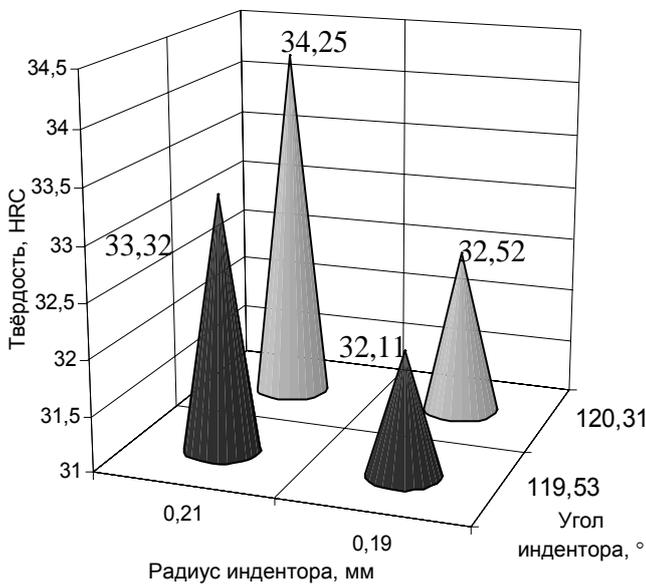


Рис. 2. Зависимость измеренной твердости от угла индентора и радиуса закругления наконечника для эталонной меры 31 HRC

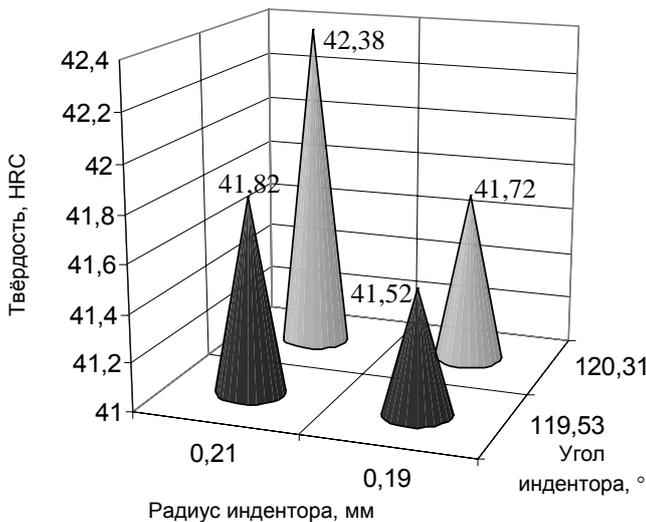


Рис. 3. Зависимость измеренной твердости от угла индентора и радиуса закругления наконечника для эталонной меры 40 HRC

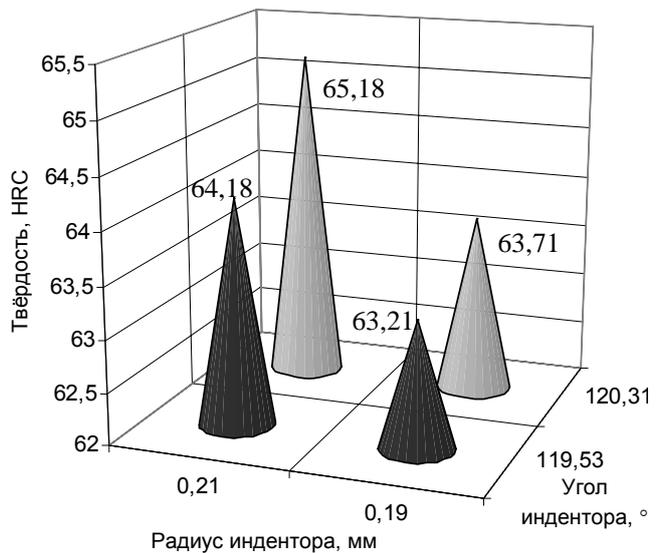


Рис. 4. Зависимость измеренной твердости от угла индентора и радиуса закругления наконечника для эталонной меры 63 HRC

Таблица 7

Измерения для меры твердости 378 HV				
№ п/п	Номер индентора			
	464	803	1138	12392
1	398,541	400,683	396,786	401,892
2	400,005	401,232	391,452	400,783
3	397,182	400,651	396,566	401,233
4	398,411	399,421	396,287	402,624
5	399,581	399,783	394,591	399,947
Среднее	398,744	400,354	395,136	401,296

Таблица 8

Измерения для меры твердости 746 HV				
№ п/п	Номер индентора			
	464	803	1138	12392
1	763,289	768,233	759,775	766,457
2	760,579	763,711	757,812	761,238
3	761,398	761,544	754,415	765,355
4	762,816	763,119	756,989	766,213
5	763,987	767,813	758,919	767,446
Среднее	762,414	764,884	757,582	765,342

Сопоставим графики зависимости твердости от угла индентора для различных мер твердости по шкале Виккерса (рис. 5 и 6).

На рис. 5 и 6 видно, что больший угол наконечника индентора приводит к уменьшению измеренного значения твердости при постоянной нагрузке.

Подобные исследования инденторов проводились в Национальной физической лаборатории (Великобритания, г. Теддингтон) [4]. Исследовалась зависимость геометрии трех инденторов Виккерса (40226, 40227 и 40228) и четырех инденторов Роквелла (40222, 40223, 40224 и 40225). Определялись значения твердости на эталонных плитках

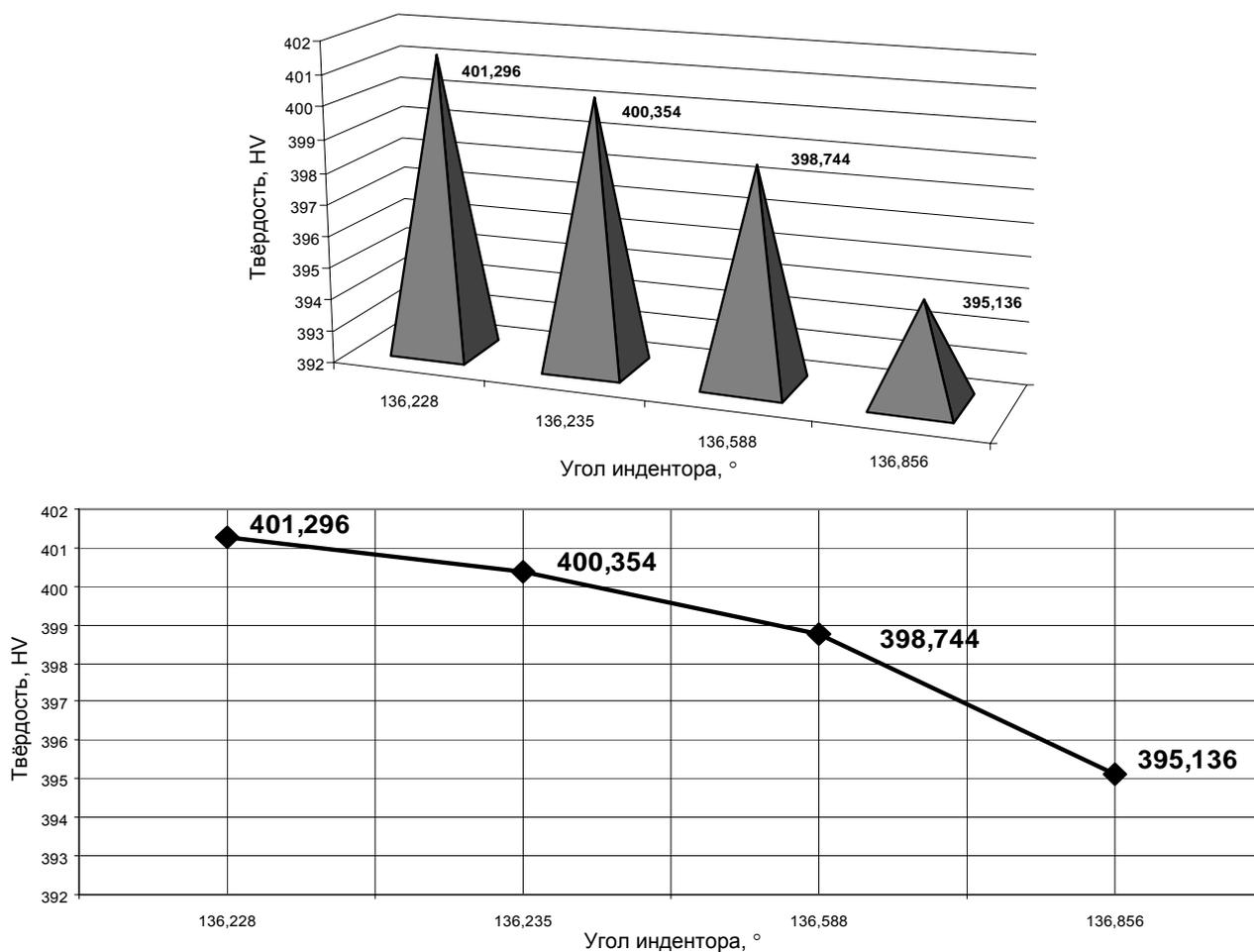


Рис. 5. Зависимость измеренной твердости от угла индентора для эталонной меры 378 HV

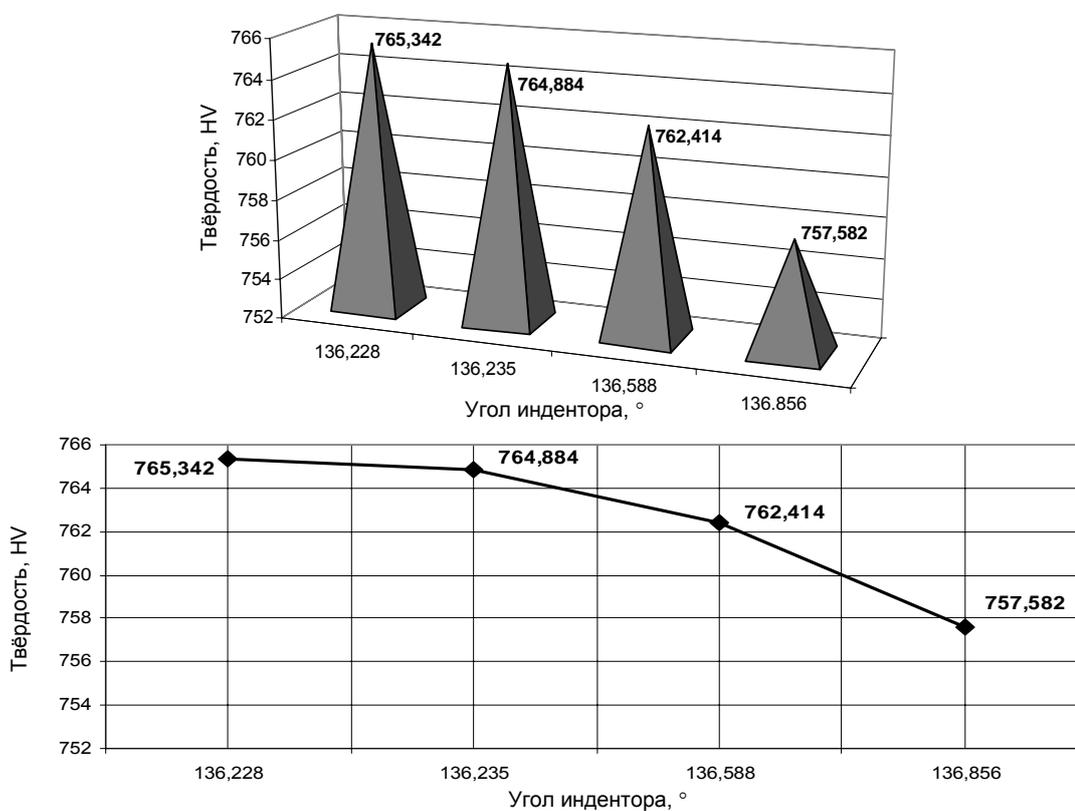


Рис. 6. Зависимость измеренной твердости от угла индентора для эталонной меры 7468 HV

300HV10 и 800HV10 по шкале Виккерса и 30HRC, 63HRC по шкале Роквелла. Результаты этих исследований согласуются с проведенными в НИЦ “Институт метрологии”.

Заключение

Исследования влияния геометрии существующих инденторов необходимы для выбора эталонного индентора или группы инденторов для подготовки и проведения международных сличений по шкалам Роквелла и Виккерса. Из имеющихся инденторов в международных сличениях по шкалам Роквелла, Супер-Роквелла и Виккерса предлагается использовать инденторы с номерами 2111 (по шкалам Роквелла и Супер-Роквелла) и 12392 (по шкале Виккерса).

Полученные результаты подтверждают общую теорию, что для шкалы Виккерса увеличение угла индентора приводит к уменьшению значений твердости, а для шкалы Роквелла увеличение угла алмазного конуса и наконечника индентора – к увеличению значений твердости при постоянной нагрузке. Данные утверждения основаны на проведенных исследованиях инденторов Виккерса 464, 803, 1138, 12392 и инденторов Роквелла 945, 1048, 2111, 3524. Анализ влияния углов пирамиды и конуса на результаты измерения твердости ма-

териала является направлением для дальнейшего изучения, в частности, для исследований в области микро- и нанотвердости.

Список литературы

1. Metallic Materials – Rockwell hardness test (scale A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T). – Part 1: Test method: ISO 6508-1. – Geneva: International Organization for Standardization, 1999.
2. Государственные первичные эталоны единиц твердости по шкалам Бринелля и Виккерса, Роквелла и Супер-Роквелла / Г.С. Сидоренко, В.Б. Большаков, Я.С. Довженко [и др.] // Украинський метрологічний журнал. – 1999. – № 2. – С. 51–55.
3. Наконечники и бойки алмазные к приборам для измерения твердости металлов и сплавов: ГОСТ 9377-81. – [Дата введения 1982-01-01]. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 10 с. – (Государственный стандарт Союза СССР).
4. Brice L. The influence of indenter characteristics on hardness measurement / L. Brice. – NPL, XVII IMEKO World congress metrology in the 3rd millennium. – Dubrovnik, Croatia, June 22–27, 2003. – P. 1034–1037.