

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 620.178.151.6

СРАВНЕНИЕ ЧИСЕЛ ТВЕРДОСТИ, ПОЛУЧЕННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ

В.И. Мощенок, профессор, к.т.н., ХНАДУ

Аннотация. Предложен метод перевода чисел твердости, полученных вдавливанием инденторов разной геометрии, с использованием кривых индентирования. В качестве критерия при сравнении чисел твердости служит глубина внедрения индентора.

Ключевые слова: твердость, стальной шарик, алмазный конус, алмазная пирамида, кривая индентирования, коэффициент формы пары инденторов.

ПОРІВНЯННЯ ЧИСЕЛ ТВЕРДОСТІ, ОТРИМАНИХ РІЗНИМИ МЕТОДАМИ

В.І. Мощенок, професор, к.т.н., ХНАДУ

Анотація. Запропоновано метод переведення чисел твердості, отриманих відновлюванням інденторів різної геометрії, із застосуванням кривих індентування. Критерієм у порівнянні чисел твердості є глибина втискування індентора.

Ключові слова: твердість, сталевий кулька, алмазний конус, алмазна піраміда, крива індентування, коефіцієнт форми пари інденторів.

COMPARISON OF HARDNESS NUMBERS RECEIVED BY DIFFERENT METHODS

V. Moschenok, Professor, Candidate of Technical Science, KhNAHU

Abstract. The method of converting hardness values for various geometry indentors with using indentation curves has been developed. The criterion for hardness values comparison was the depth of indenter penetration.

Key words: hardness, steel ball, diamond cone, diamond pyramid, indentation curve, form coefficient of indenter pair.

Введение

Различные принципы определения твердости с использованием инденторов разной формы (шарика, конуса, пирамиды) дают численно не совпадающие результаты, которые имеют к тому же неодинаковую размерность [1]. Это затрудняет физически обоснованный перевод чисел твердости, полученных разными методами.

В связи с этим весьма актуальной является разработка новых методов перевода чисел

твердости, позволяющих получить физически обоснованные и достоверные значения.

Анализ публикаций

Существующие таблицы перевода чисел твердости из одного метода в другой основаны на экспериментальных данных и не имеют физической основы [2]. Зависимость твердости от нагрузки и других факторов для всех типов инденторов делает перевод чисел твердости, полученных разными методами, не вполне корректным. Для разных материа-

лов необходимы отдельные таблицы перевода чисел твердости, т.к. на соотношение этих чисел могут влиять различные факторы, такие как химический состав материала, структура, термическая обработка, способность к наклепу и т.п. [2].

В стандарте ASTM E140-07 отмечается, что перевод чисел твердости по приведенным в нем таблицам или расчетам по уравнениям является приблизительным и должен использоваться только тогда, когда невозможно испытать материал при оговоренных условиях.

В работе [3] отмечается, что зависимость твердости от нагрузки вызвана не тем, что свойства материала зависят от величины нагрузки на индентор, а тем, что с нагрузкой изменяются условия испытаний (вид контакта и скорость деформации в контакте). Автор делает вывод, что разные материалы необходимо сравнивать не при одной нагрузке на индентор, а при одной и той же глубине отпечатка, чтобы влияние таких факторов, как вершины индентора и скорости деформации, на результат испытаний было одинаковым.

Цель и постановка задачи

Поставлена задача разработать способ перевода чисел твердости с использованием объединяющего и характерного для каждого метода параметра испытания, который бы

дал возможность получать физически обоснованные и точные значения твердости. В качестве такого параметра была выбрана диаграмма индентирования при непрерывном вдавливании индентора. Критерием для пересчета чисел твердости, полученных разными методами, была принята глубина внедрения h .

Материал и методика исследований

В качестве материала исследования была использована стальная образцовая мера к твердомерам Бринелля с твердостью 103 НВ. Непрерывное индентирование осуществлялось на универсальном твердомере, модифицированном гидравлической станцией фирмы «Фесто» (Австрия), с целью плавного перемещения образца на индентор.

В качестве инденторов использовались стальные шарики $\varnothing 10$; 5; 2,5 мм, алмазный конус с углом при вершине 120° и радиусом закругления у вершины 0,2 мм и алмазная пирамида Виккерса. Нагрузка индентирования плавно изменялась от 0 до 2500 Н.

Результаты исследований и их обсуждение

На рис. 1 представлены нагрузочные кривые вдавливания инденторов разной геометрии в стальной образец.

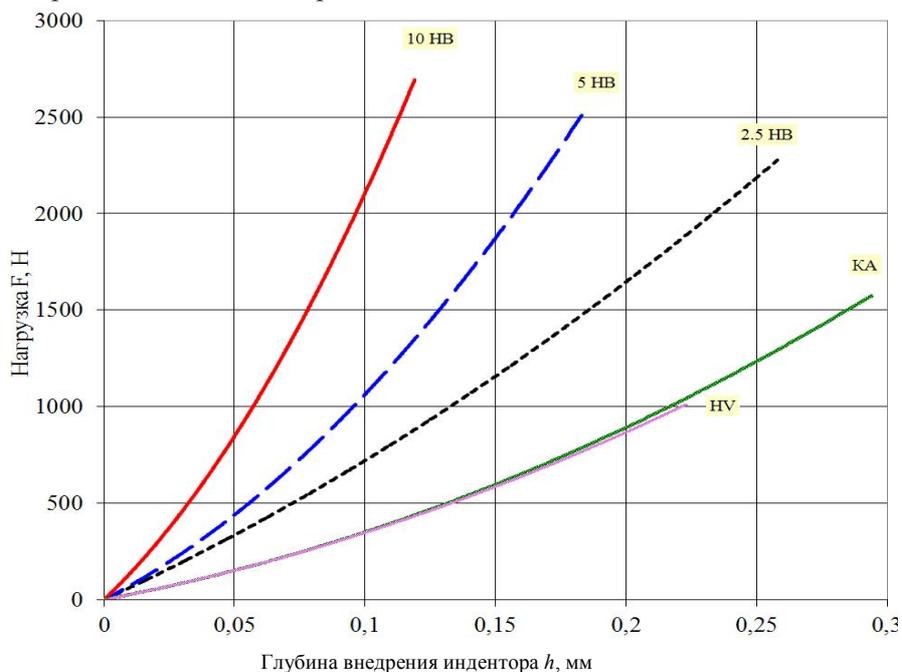


Рис. 1. Зависимость между нагрузкой и глубиной внедрения разных инденторов в испытуемый образец: 10 НВ – шарик $\varnothing 10$ мм; 5 НВ – шарик $\varnothing 5$ мм; 2,5 НВ – шарик $\varnothing 2,5$ мм; КА – конус алмазный с углом при вершине 120° ; НВ – пирамида Виккерса

Из рис. 1 видно, что рост нагрузки приводит к увеличению глубины внедрения индентора, интенсивность которого существенно зависит от формы и размеров индентора.

При локальных механических испытаниях, в зависимости от формы индентора, возможны два вида контакта – «тупой» и «острый» [3]. «Острый» контакт образуется при нагружении пирамидального индентора (Виккерса, Берковича) или конуса. «Тупой» контакт возникает при нагружении плоской поверхности сферическим индентором. В данном случае использованы оба вида контакта.

Из рис. 1 видно, что с увеличением остроты индентора, т.е. с уменьшением диаметра шарика от 10 до 5 и 2,5 мм нагрузка для получения одной и той же глубины внедрения значительно снижается. Еще большее её снижение наблюдается при переходе к остроконечным инденторам (конусу и пирамиде).

Другими словами, чем острее индентор, т.е. чем больше удельное давление на поверхность испытуемого образца, тем больше глубина вдавливания индентора при одной и той же нагрузке. При увеличении глубины отпечатка разница в величине нагрузки для его достижения при вдавливании разных инденторов еще больше увеличивается. Следует отметить, что кривые индентирования для конуса и пирамиды практически совпадают.

Аппроксимацией кривых индентирования степенной функцией были получены следующие уравнения

$$F_{\text{НВ } 10} = 82580h^2 + 12797h, \quad (1)$$

$$F_{\text{НВ } 5} = 37106h^2 + 6924,7h, \quad (2)$$

$$F_{\text{НВ } 2,5} = 10263h^2 + 6178,7h, \quad (3)$$

$$F_{\text{КА}} = 9585,9h^2 + 2537,8h, \quad (4)$$

$$F_{\text{НВ}} = 8659,5h^2 + 2607,4h, \quad (5)$$

где $F_{\text{НВ } 10}$, $F_{\text{НВ } 5}$, $F_{\text{НВ } 2,5}$, $F_{\text{КА}}$, $F_{\text{НВ}}$ – нагрузка при использовании разных инденторов, Н; h – глубина внедрения индентора, мм.

Для сравнения чисел твердости, полученных вдавливанием разных инденторов при непрерывном индентировании, предлагается использовать коэффициент формы пар инденторов

$$K_{\phi} = \frac{F_1(h)}{F_2(h)}, \quad (6)$$

где K_{ϕ} – коэффициент формы пар инденторов; $F_1(h)$ – функция зависимости нагрузки от глубины внедрения для индентора № 1; $F_2(h)$ – функция зависимости нагрузки от глубины внедрения для индентора № 2.

В табл. 1 приведены формулы для определения коэффициента формы разных пар инденторов в зависимости от глубины внедрения h .

На рис. 2 и 3 приведены диаграммы зависимости коэффициентов формы разных пар инденторов от глубины внедрения.

Таблица 1 Зависимость коэффициентов формы пар инденторов от глубины внедрения

Обозначение пары инденторов	Формула для определения коэффициента формы пары инденторов
10 НВ/5НВ	$1,1974h + 1,8627$
10 НВ/2,5НВ	$8,2447h + 2,1043$
10 НВ/КА	$9,1394h + 5,1232$
10 НВ/НВ	$10,853h + 4,9928$
5 НВ/2,5НВ	$3,1453h + 1,1498$
5 НВ/НВ	$3,2695h + 2,7138$
5 НВ/КА	$2,4639h + 2,7779$
2,5 НВ/НВ	$-2,178h + 2,3137$
2,5 НВ/КА	$-2,4742h + 2,341$
КА/НВ	$0,2458h + 0,9796$

Графики зависимости K_{ϕ} от h нанесены на координатную сетку, состоящую из concentрических окружностей и радиусов. Каждый радиус соответствует определенной глубине внедрения индентора, которая увеличивается по часовой стрелке. Каждая окружность характеризует уровень коэффициента K_{ϕ} , указанный цифрами в верхней части диаграммы.

Для пересчета чисел твердости используется K_{ϕ} для какой-то определенной глубины внедрения индентора h .

Зная нагрузку F_1 и глубину внедрения h для индентора №1 (а следовательно, и твердость, которую можно посчитать по формуле), можно определить K_{ϕ} данной пары инденторов №1 и №2 по диаграмме. По формуле (7) находят нагрузку F_2 , требуемую для внедрения индентора №2 на такую же глубину h .

$$F_2(h) = \frac{F_1(h)}{K_{\phi}}. \quad (7)$$

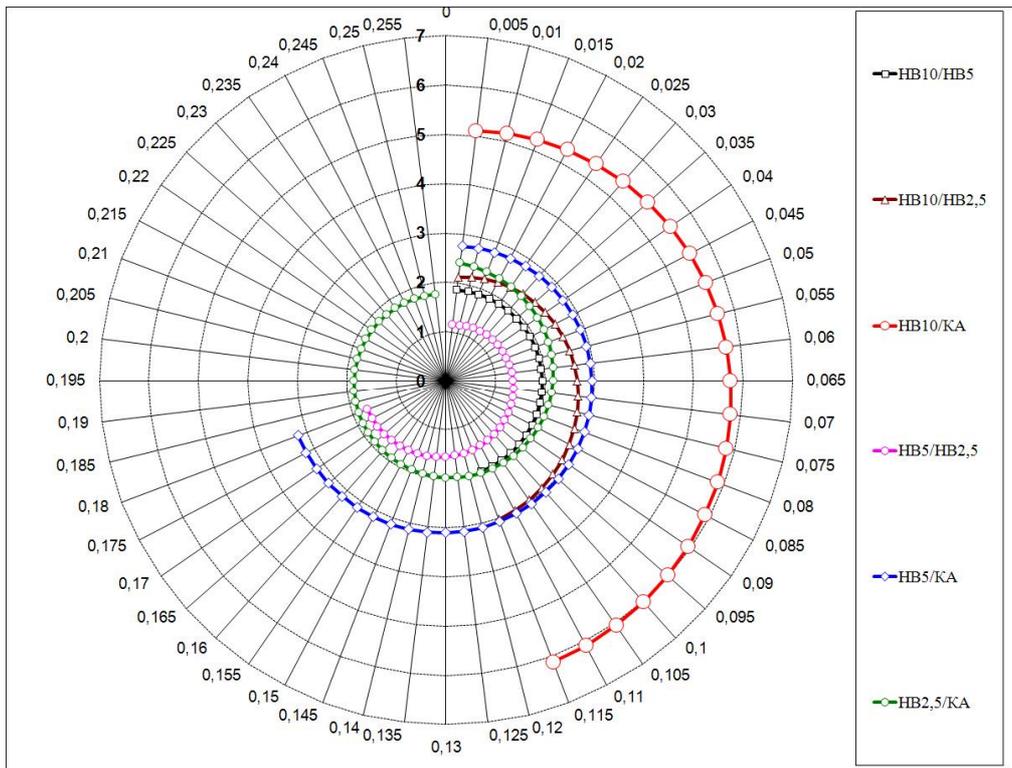


Рис. 2. Диаграмма зависимости коэффициентов формы пар инденторов (стальные шарики $\varnothing 10$; $\varnothing 5$; $\varnothing 2,5$ мм, алмазный конус с углом при вершине 120°) от глубины внедрения в испытуемый образец

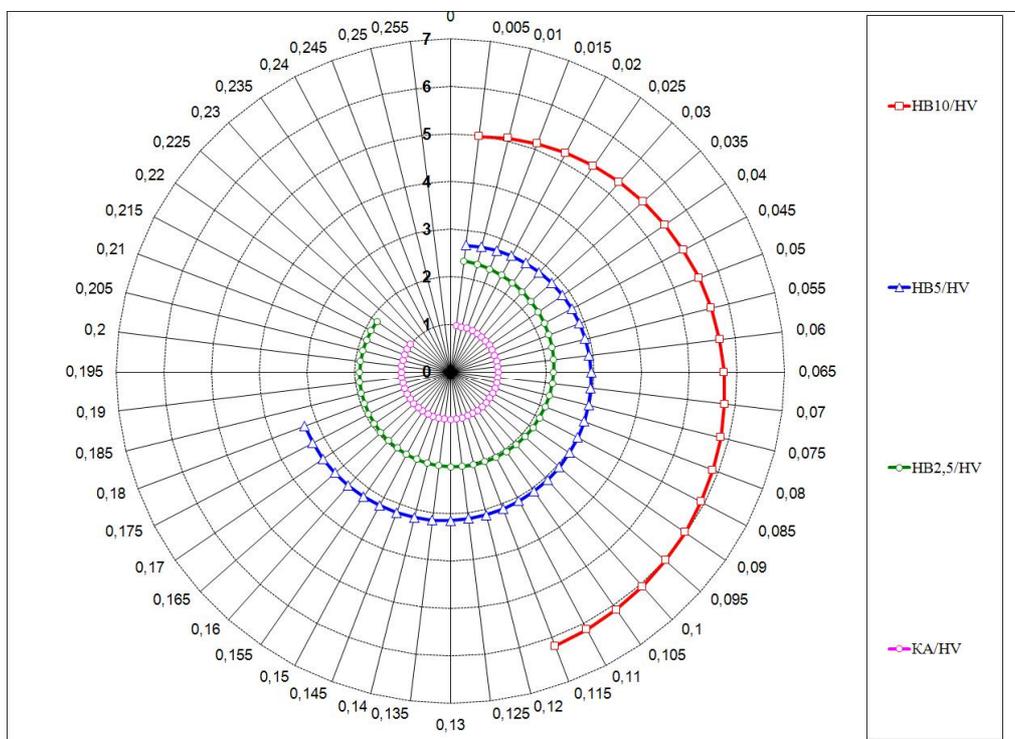


Рис. 3. Диаграмма зависимости коэффициентов формы пар инденторов (стальные шарики $\varnothing 10$; $\varnothing 5$; $\varnothing 2,5$ мм, алмазный конус с углом при вершине 120° , пирамида Виккерса) от глубины внедрения в испытуемый образец

Зная значения F_2 и h для индентора №2, определяют твердость по соответствующей формуле.

Воспользовавшись необходимыми формулами, можно составить таблицы пересчета чисел твердости для инденторов разной геометрии и образцов с разной твердостью.

Выводы

1. Для перевода чисел твердости, полученных непрерывным индентированием разными инденторами, предложено использовать коэффициент формы пар инденторов K_ϕ , представляющий собой отношение нагрузок для двух инденторов разной геометрии, требуемых для внедрения на одинаковую глубину h

$$K_\phi = \frac{F_1(h)}{F_2(h)}.$$

2. Диаграмма зависимости K_ϕ от глубины внедрения h для разных пар инденторов позволяет, зная нагрузку и глубину внедрения для одного индентора (а следовательно, и твердость), найти нагрузку для получения такой же глубины внедрения для другого индентора и по соответствующей формуле рассчитать твердость.

3. Предложенная методика перевода чисел твердости, определенных разными методами, позволяет получить достаточно точные и физически обоснованные числа твердости, поскольку их сравнение производится при одинаковой глубине вдавливания, что исключает влияние различий в условиях испытаний.

Литература

1. Григорович В.К. Твердость и микротвердость металлов / В.К. Григорович. – М. : Наука, 1976. – 230 с.
2. ASTM E140-07 Standard Hardness Conversion Tables for Metals Relationship Among Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Superficial Hardness, Knoop Hardness, and Scleroscope Hardness. – Olin College. – US. – 2007. – 21 p.
3. Дуб С.Н. Испытание твердых тел на нанотвердость / С.Н. Дуб, Н.В. Новиков // Сверхтвердые материалы. – 2004. – № 6. – С. 1–18.

Рецензент: Ю.В. Батыгин, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 15 декабря 2011 г.