

УДК 669.14 : 620.178.1

РАЗРАБОТКА ФОРМУЛ ДЛЯ РАСЧЕТА ПОПРАВочНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ТВЕРДОСТИ ПО ВИККЕРСУ НА НЕПЛОСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Сандомирский С.Г., Валько А.Л., Руденко С.П.

*ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси»
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Получены формулы для расчета поправочных коэффициентов K при измерении твердости HV по Виккерсу на сферических и цилиндрических (вогнутых и выпуклых) поверхностях. Для расчета проведен статистический анализ данных, приведенных в нормативных документах в виде таблиц. Обоснована достаточность квадратичной функции для аппроксимации полученных зависимостей и необходимость выполнения физически обоснованного условия $K \equiv 1$ при нулевой кривизне поверхности. Показано упрощение и снижение погрешности расчета K по сравнению с рекомендованным в нормативных документах. Формулы целесообразно использовать для автоматического расчета твердости по Виккерсу на изделиях с не плоской поверхностью.

Ключевые слова: измерения твердости, метод Виккерса, не плоские поверхности, поправочные коэффициенты.

DEVELOPMENT OF FORMULAS TO CALCULATE CORRECTION FACTORS FOR VICKERS HARDNESS MEASUREMENTS ON A NON-PLANAR SURFACE

Sandomirski S., Val'ko A., Rudenko S.

*Joint Institute of Mechanical Engineering of the NAS of Belarus
Minsk, Republic of Belarus*

Abstract. Formulas for calculating correction factors K for Vickers hardness measurements on spherical and cylindrical (concave and convex) surfaces were obtained. Statistical analysis of the data given in normative documents in the form of tables was carried out for calculation. The sufficiency of the quadratic function for approximating the obtained dependences and the necessity of fulfilling the physically justified condition $K \equiv 1$ at zero surface curvature have been substantiated. The simplification and reduction of the error of calculation of K as compared with that recommended in the normative documents is shown. It is advisable to use the formulas for automatic calculation of Vickers hardness on products with a non-planar surface.

Key words: hardness measurements, Vickers method, non-planar surfaces, correction factors.

Адрес для переписки: Сандомирский С.Г., ул. Академическая, 12, Минск 220072, Республика Беларусь, e-mail: sand_work@mail.ru

Измерение твердости – один из основных методов оценки прочностных характеристик металлов [1]. Твердость деталей малой толщины и поверхностных слоев определяют по Виккерсу (HV) [2]. Важным аспектом измерения твердости HV является получение ее значений на не плоской поверхности изделий. В ГОСТ [2] включены поправочные коэффициенты K , зависящие от формы (выпуклая, вогнутая, сферическая, цилиндрическая) поверхности, ее кривизны (диаметра D) и твердости (среднего арифметического d длин диагоналей отпечатка). В [2] значения коэффициентов K представлены в табличном виде. Значениям K от значения 0,995 или 1,005 с дискретностью 0,005, поставлены в соответствие значения (с точностью до третьего знака после запятой) отношения d/D . Значения K для отношений d/D , не приведенным в табл., в [2, приложение В] предлагают определять «интерполяцией» значений K , из соответствующих таблиц для значений d/D , ближайших к измеренному.

Регламентированная в [2] методика определения поправочных коэффициентов K , учитывающих форму и кривизну не плоской поверхности измеряемого изделия, не удобна в использовании

и недостаточно точна. По ней для определения значения K для полученного в результате измерения отношения d/D , используют ближайшие табличные значения d/D , точность представления которых ограничена третьим десятичным знаком после запятой. Погрешность представления этих «ближайших» значений d/D полностью включается в погрешность определения искомого коэффициента K для измеренного отношения d/D . Это снижает достижимую точность применения метода измерения твердости HV по Виккерсу для изделий с криволинейной поверхностью.

Цель доклада – разработать формулы для расчета поправочных коэффициентов K при измерении твердости HV на не плоских поверхностях, обеспечивающие упрощение расчета и снижение погрешности расчета K .

Для **разработки искомых формул** воспользуемся [3] данными о взаимосвязях значений корректирующего коэффициента K со значениями отношения d/D для поверхностей разной формы и кривизны, приведенными в табл. В.1–В.6 Приложения В ГОСТа [2]. В качестве примера в табл. 1 приведены поправочные коэффициенты K для выпуклых цилиндрических поверхностей для

случая, когда одна из диагоналей отпечатка параллельна оси цилиндра.

Таблица 1. Поправочные коэффициенты K для выпуклых цилиндрических поверхностей. Одна из диагоналей параллельна оси

K по [2]	d/D по [2]	Расчет K по (6)
0,995	0,009	0,9956
0,990	0,019	0,99091
0,985	0,029	0,98644
0,980	0,041	0,98135
0,975	0,054	0,97618
0,970	0,068	0,97101
0,965	0,085	0,96529
0,960	0,104	0,95963
0,955	0,126	0,95403
0,950	0,153	0,94855
0,945	0,189	0,94366
0,940	0,243	0,94147

Для построения корреляционных полей между значениями коэффициентов K и отношений d/D для поверхностей разной формы использована программа «Microsoft Excel» и значения K и d/D , приведенные в табл. [2]. Пример такого поля, построенного по данным табл. 1, приведен на рис. 1.

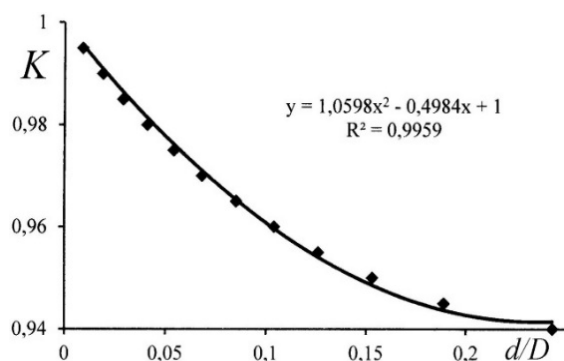


Рисунок 1 – Зависимость поправочного коэффициента K при измерении твердости HV на выпуклой цилиндрической поверхности при ориентации диагонали параллельно оси цилиндра от отношения d/D , интерполирующая их степенная линия тренда, проходящая через значение $K = 1$ при $d/D = 0$, ее уравнение и достоверность R^2 аппроксимации

Статистическая обработка корреляционных зависимостей между K и d/D , построение линий тренда (полиномы второй степени) этих зависимостей и расчет достоверности аппроксимации R^2 (квадрат коэффициента R корреляции) проведены по процедуре программы «Microsoft Excel». Отметим, что построенные линии программным путем проведены через физически верное значение $K \equiv 1$ при нулевой кривизне испытуемой поверхности (при $d/D = 0$).

Анализ результатов. Получены следующие (последовательно для случаев, указанных в табл. 2) уравнения для определения поправочных коэффициентов K по отношениям d/D при измерении твердости HV:

$$K = 1,7729 (d/D)^2 - 1,0838 (d/D) + 1, \quad (1)$$

$$K = 5,0954 (d/D)^2 + 1,1138 (d/D) + 1, \quad (2)$$

$$K = 0,4446 (d/D)^2 + 0,05759 (d/D) + 1, \quad (3)$$

$$K = 6,1573 (d/D)^2 + 0,4967 (d/D) + 1, \quad (4)$$

$$K = 0,2711 (d/D)^2 - 0,5788 (d/D) + 1, \quad (5)$$

$$K = 1,0598 (d/D)^2 - 0,4984 (d/D) + 1. \quad (6)$$

Сведения о достоверности аппроксимации R^2 и средние значения δ модуля относительного отклонения между результатами расчета K по разработанным формулам (1)–(6) и табличными [2] значениями K сведены в табл. 2.

Таблица 2. Сведения об уравнениях для расчета коэффициентов K при измерении твердости HV по Виккерсу на не плоской поверхности

Поверхность и № формулы	Расположение индентора	R^2	$\delta, \%$
Сферическая, выпуклая, (1)	Произвольно	0,9995	0,0907
Сферическая, вогнутая, (2)		0,9998	0,0456
Цилиндрическая, выпуклая, (3)	Диагонали развернуты на 45° от оси	1,0000	0,0153
Цилиндрическая, вогнутая, (4)		1,0000	0,0132
Цилиндрическая, выпуклая, (5)	Диагональ параллельна оси	0,9959	0,1069
Цилиндрическая, вогнутая, (6)		0,9986	0,1293

Анализ полученных результатов показал, что квадратичные степенные функции (1)–(6) обеспечивают близкие к «1» достоверности аппроксимации табличных данных [2] и не значительные численные отклонения при расчете K . Использование полиномов более высоких степеней или функций другого вида не имеет смысла.

Расчет K по разработанным формулам обеспечивает получение результата проще и точнее, чем регламентированная в [2] методика. Это следствие того, что формулы (1)–(6) используют в расчете не ближайшие к измеренному значению d/D табличные значения, а усредняют табличные данные по всем приведенным в табл. значениям. Полученные формулы (1)–(6) предназначены для автоматического расчета твердости HV на изделиях с не плоской поверхностью.

Литература

- Агамиров, Л. В. Физико-механические свойства. Испытания металлических материалов Машиностроение / Л. В. Алгамиров Энциклопедия : в 40 т. – М.: Машиностроение, 2010. – Т. 2–1.
- Металлы и сплавы. Измерение твердости по Виккерсу. Часть 1 : ГОСТ Р ИСО 6507-1 – 2007. – Стандартинформ. – Введ. 01.08.2008.
- Sandomirski, S. G. Calculation of Correction Factors when Measuring Vickers Hardness on a Non-Planar Surface / S. G. Sandomirski, A. L. Val'ko, S. P. Rudenko // Приборы и методы измерений. – 2022. – Т. 13. – № 3. – С. 105–111.