

DOI: 10.26896/1028-6861-2017-83-11-62-65

УДК (UDC) 620.178.154.56:621.922

ДИСПЕРГОМЕТР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ТВЕРДОСТИ АБРАЗИВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

© С. А. Крюков, Н. В. Байдакова

Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Россия; e-mail: baydakovanv@mail.ru

Статья поступила 20 июля 2016 г.

Рассмотрены различные методы определения твердости абразивных инструментов, используемых в настоящее время в Российской Федерации и за рубежом. Анализ этих методов показал, что процессы измерения поверхностной твердости инструментов не идентичны процессам взаимодействия рабочей поверхности инструмента с обрабатываемой поверхностью детали. В связи с этим известные методы определения твердости формализованы, носят условный характер и не отвечают сущности физико-механических процессов шлифования. Другим их недостатком является малая чувствительность к изменению структурно-механических свойств инструмента под воздействием различных факторов внешней среды, СОЖ и пр. Предложен маятниковый диспергометр для исследования поверхностной твердости инструментов, имитирующий реальный контакт между их рабочей поверхностью и обрабатываемой поверхностью изделия, а также моделирующий процесс шлифования. Представлена схема маятникового диспергометра, описан принцип его действия, а также приведена подробная методика определения относительной величины твердости через постоянную времени диспергирования. Установлена тесная корреляционная связь между значением твердости, определяемой маятниковым диспергометром, и удельной объемной энергией разрушения при диспергировании поверхности абразивного инструмента. Представлены сравнительные показатели твердости, определенные с помощью маятникового диспергометра и пескоструйного метода. В качестве образцов использованы электрокорундовые инструменты на керамической связке разной зернистости (16, 25, 40) с постоянной твердостью SM2, которая определена пескоструйным методом по ГОСТ 18118–97. Анализ этих показателей позволил установить, что значения твердости, полученные на маятниковом диспергометре, достоверно отражают реальные условия эксплуатации абразивных инструментов.

Ключевые слова: абразивный инструмент; твердость; диспергометр.

DEVICE FOR DETERMINATION OF THE SURFACE HARDNESS OF ABRASIVE TOOLS

© S. A. Kryukov and N. V. Baydakova

Submitted July 20, 2016.

Analysis of various procedures currently used for determination of the hardness of the abrasive tools in the Russian Federation and abroad showed that the processes of measuring the surface hardness of tools differ from the processes occurred upon interaction of the working surface of the tool with the workpiece surface of the item. All known methods of hardness determination are thus formalized, conditional and irresponsive to the essence of physical and mechanical processes of grinding. Another disadvantage is their low sensitivity to the change in the structural and mechanical properties of the tool under the impact of environmental factors, coolant-cutting fluid, etc. A pendulum dispersometer is developed to study the surface hardness of tools and simulate the real contact between their working surface and the workpiece surface upon grinding. The design of the pendulum dispersometer, mechanics, and detailed technique for determination of the relative hardness using the dispersion time constant are presented. A close correlation is observed between the hardness values determined with the pendulum dispersometer and specific volumetric fracture energy when the surface of the abrasive tool is dispersed. Data on the hardness values obtained using a pendulum dispersometer and sand-blasting method are compared. Electrocorundum tools on a ceramic bond of different grain sizes (16, 25, 40) with a constant hardness of SM2 determined by the sand-blasting method according to GOST 18118-97 are used as samples. An analysis of the results proved that the hardness values obtained on a pendulum dispersometer reliably reflect the real operating conditions of abrasive tools.

Keywords: abrasive instrument; hardness of the tool; dispersometer.

Для определения твердости абразивных инструментов применяются различные методы. Наибольшее распространение получили пескоструйный метод, где показателем твердости является глубина лунки, и метод

вдавливания шарика, в котором твердость оценивают по шкале прибора Роквелла. Степень твердости инструмента характеризует в основном прочность удержания абразивного зерна в связке [1, 2]. Известны так-

же методы, основанные на измерении силы резания, сверления, царапания резцом поверхностного слоя инструмента, сопротивления удару, выламывания зерен специальной лопаткой или отламывания куска инструмента щипцами [3].

Все эти методы не отражают условий реального взаимодействия рабочей поверхности абразивного инструмента с поверхностью обрабатываемого изделия. При чистовом и тонком шлифовании на режущие кромки зерна действуют силы, меньшие, чем те, которые удерживают зерно в связке. В этом случае абразивные зерна и окружающая их связка истираются и диспергируются при контакте с поверхностью обрабатываемого материала без вырывания зерна из связки. Даже при тяжелых режимах шлифования поверхностный слой абразивного инструмента первоначально испытывает большие контактные сжимающие усилия, которые приводят к интенсивному диспергированию зерна и связки. Только при правке абразивного инструмента происходит срезание или дробление его поверхностного слоя определенной толщины, где в полной мере проявляется твердость инструмента как свойство связки удерживать зерна. Таким образом, вышеперечисленные методы измерения твердости абразивного инструмента являются формализованными, а само понятие «твердость» носит относительный и условный характер и не отвечает физико-механической сущности процесса шлифования.

Стандартные методы измерения твердости недостаточно чувствительны к изменению структурно-механических свойств инструмента под воздействием внешней среды.

В связи с этим была поставлена задача разработки более чувствительного и приближенного к условиям шлифования метода определения твердости абразивного инструмента, а также установления зависимости между твердостью и структурно-механическими свойствами инструмента, интегральным показателем которых является прочность или связанная с ней удельная объемная энергия разрушения.

Анализ других известных методов определения твердости, отвечающих в той или иной мере реальным условиям шлифования, например, метода обкатки шлифовального круга роликом, метода качения круга по эталонному кругу и склерометрических методов [3 – 5], показал, что наиболее приемлемым является склерометрический маятниковый метод, основанный на исследовании затухания колебаний маятника при диспергировании индентором поверхностного слоя твердого тела. Это обосновывается тем, что диспергирование индентором исследуемой поверхности — процесс механического разрушения, включающий истирание и скалывание микрочастиц с поверхности абразивных зерен и мостиков связки, а также вырывание зерен из связки.

Однако известные маятниковые склерометры, производящие царапание алмазной иглой или инден-

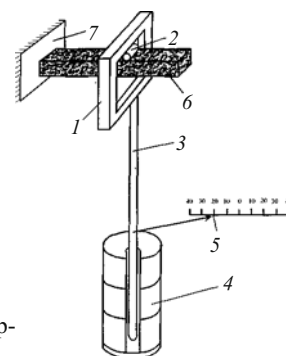


Рис. 1. Схема маятникового диспергометра

тирование острием исследуемой поверхности, не могут быть применены для исследования твердости абразивного инструмента по ряду причин. Во-первых, такие воздействия не в полной мере соответствуют реальному процессу шлифования, во-вторых, поверхность абразивного инструмента, в отличие от поверхности металла или отдельного кристалла, для которых и были разработаны склерометры, имеет большую шероховатость, обусловленную выступающими зернами и выходящими на поверхность порами.

Поэтому предложен маятниковый диспергометр [6], отличающийся от маятникового склерометра Кузнецова – Ребиндера [5] тем, что применен цилиндрический индентор в виде ролика из стали Р6М3, имитирующий истинный контакт поверхности абразивного инструмента с обрабатываемым изделием и моделирующий при колебаниях процесс шлифования.

Схема маятникового диспергометра представлена на рис. 1. Он состоит из рамки 1, в верхней части которой закреплен цилиндрический индентор 2, стержня маятника 3 длиной 0,5 м с грузами 4 массой 8 кг и указателя амплитуды колебаний 5. Испытуемый образец абразивного инструмента 6 закреплен на площадке 7.

При отклонениях и колебаниях маятника диспергометра индентор внедряется в поверхность абразивного инструмента, вызывая ее диспергирование. В зависимости от степени разрушения поверхности амплитуда колебаний маятника с течением времени уменьшается с различной интенсивностью, характеризуя затрачиваемую энергию на образование новой поверхности или объема диспергированного материала. Известно, что чем больше твердость или прочность материала, тем большую энергию нужно затратить для его разрушения. Затухание колебаний маятника диспергометра будет зависеть от степени разрушения поверхности инструмента под индентором. Чем меньше твердость (прочность) поверхности инструмента, тем легче происходит разрушение поверхности под индентором, тем глубже проникает индентор и быстрее происходит затухание колебаний маятника. Таким образом, маятниковым диспергометром можно определять относительные значения твердости поверхности абразивных инструментов. Для этих целей при измерениях твердости через равные интервалы времени (15 с) фиксируют амплитуды затухающих ко-

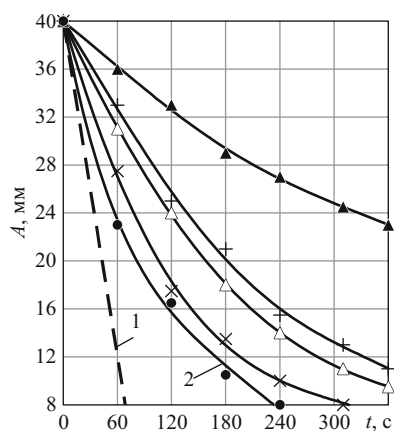


Рис. 2. Кривые затухания амплитуды колебаний диспергометра, полученные на образце 25A25CM2K5 в исходном состоянии (X), в воде (●), спирте (△), после термообработки (+) и импрегнирования (▲); 1 — касательная к кривой затухания 2.

лебаний маятника диспергометра и строят зависимость амплитуды A от времени t при начальной амплитуде $A_0 = 0,04$ м. Поверхностную твердость инструмента можно определить графически (рис. 2). Для этого проводят касательную к кривой $A = A(t)$ в начальной точке $t = 0$ до пересечения с осью t при $A = 0$. Интервал времени пересечения касательной с осью t будет определять относительную величину твердости H_g . Ее можно определить также по формуле

$$H_g = \frac{t_n}{\ln A_0 - \ln A_t}, \quad (1)$$

где t_n — время затухания колебаний диспергометра от начальной амплитуды A_0 до текущей A_t .

Таким образом, твердость H_g , определяемая по методу затухающих колебаний, является постоянной времени процесса диспергирования и имеет определенный физический смысл. П. А. Ребиндер показал, что твердость H_g пропорциональна убыли энергии колебаний маятника U за единицу времени:

$$H_g \sim -\frac{dU}{dt}, \quad (2)$$

причем эта энергия расходуется на работу диспергирования и образование новой поверхности или объема разрушаемой части поверхности материала.

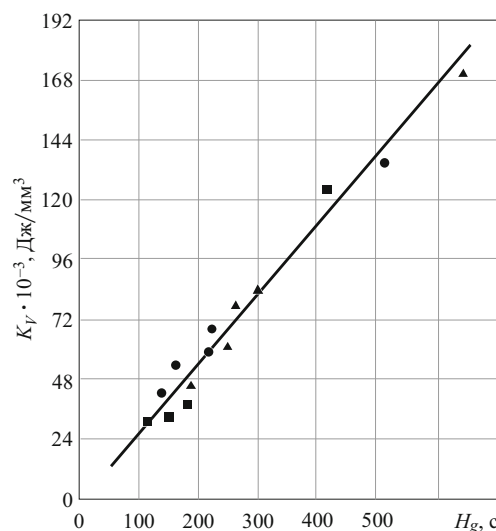


Рис. 3. Корреляция между твердостью и удельной объемной энергией разрушения при диспергировании поверхности абразивного инструмента: ▲ — 25A16CM22K5; ● — 25A25CM2K5; ■ — 25A40CM2K5

Если принять по известной теории Кирпичева – Кикка, что расход энергии на разрушение данного материала при прочих равных условиях прямо пропорционален его объему, то твердость H_g можно выразить через коэффициент пропорциональности между затраченной энергией колебаний U и объемом разрушенной части поверхности инструмента V при диспергировании:

$$H_g = \frac{U}{vV} = \frac{1}{v} K_v, \quad (3)$$

где v — размерный коэффициент пропорциональности; $K_v = U/V$ — удельная объемная энергия разрушения.

Затраченную энергию колебаний определяли по формуле

$$U = \frac{0,5G}{l_m} (A_0^2 - A_t^2), \quad (4)$$

где G — сила тяжести груза и стержня маятника; $G = 90$ Н; l_m — длина стержня маятника, равная 0,5 м; A_0 — начальная амплитуда колебаний, равная 0,04 м; A_t — текущая амплитуда колебаний за период проведения одного эксперимента (90 с).

Показатели твердости образцов абразивных инструментов с помощью маятникового диспергометра и пескоструйного метода

Состояние образца и условия его испытания	$H_g, c/h, \text{ мм}$		
	25A40CM2K5	25A25CM2K5	25A16CM2K5
Исходное состояние	152/5,0	173/5,4	212/5,7
Водная среда	128/5,5	147/6,3	176/6,4
Термообработка (500 °С, выдержка 20 мин)	178/4,9	220/5,6	263/5,8
Импрегнирование серой	217/3,2	264/3,6	299/3,7

Примечание. Твердость H_g определена с помощью маятникового диспергометра, твердость h — пескоструйным методом.

На рис. 3 представлена зависимость между твердостью H_g и удельной объемной энергией разрушения K_V , определенной по затраченной энергии колебаний маятника диспергометра и объему отпечатка поверхности образцов под индентором. Видно, что между значениями H_g и K_V существует тесная корреляционная связь, коэффициент корреляции $\hat{r} = 0,792$. Эта зависимость хорошо аппроксимируется выражением

$$K_V = vH_g. \quad (5)$$

Очевидно, произведение твердости на коэффициент пропорциональности (vH_g) обладает той же размерностью, что и прочность, и является физической характеристикой данного материала.

Используя энергетическую теорию прочности, удельную объемную энергию разрушения можно определить по известной формуле сопротивления материалов [7]:

$$K_V = \frac{(n_V \sigma)^2}{2E}, \quad (6)$$

где n_V — коэффициент, учитывающий напряженное состояние материала под индентором; σ — прочностная характеристика материала; E — модуль упругости материала.

В таблице представлены показатели твердости, определенные по предлагаемому и пескоструйному методам.

Независимо от зернистости образцов значения твердости, определенные пескоструйным методом, имеют незначительные отличия и укладываются в значения твердости СМ2. В то же время твердость образцов, полученная при диспергировании, различается в значительной мере.

Это объясняется тем, что при пескоструйном методе показатель твердости обусловлен лишь прочностью удержания связкой абразивного зерна в черепке инструмента и прочностью самой связки. Однако, как показано выше, при всех существующих режимах шлифования сначала интенсивному диспергированию подвергаются режущие кромки зерен и окружающая их связка, испытывающие большие контактные усилия, и только после происходит разрушение связки и вырывание зерен. При использовании маятникового диспергометра одновременно оценивают как прочность (твердость) абразивных зерен, так и прочность удержания их связкой. В связи с этим у образцов мелкозернистого инструмента наблюдается более высокая поверхностная твердость H_g , чем у крупнозернистых образцов. Поэтому при выборе твердости шлифовальных кругов руководствуются тем, что при равных условиях обработки мелкозернистые инструменты

должны быть относительно меньшей твердости по сравнению с крупнозернистыми [1, 8].

При сравнении твердости H_g и h термообработанных образцов инструментов видно, что h практически такая же, как и у исходных образцов, а H_g повышается под воздействием термообработки из-за закалки абразивных зерен и увеличения их прочности (твердости).

Таким образом, результаты исследований подтверждают правомерность того, что за меру твердости H_g по методу маятникового диспергометра принята постоянная времени процесса диспергирования. Кроме того, имитационное моделирование процесса шлифования диспергометром позволяет приблизиться к реальным условиям взаимодействия рабочей поверхности инструмента с обрабатываемой деталью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Резников А. Н. и др. Абразивная и алмазная обработка материалов: справочник. — М.: Машиностроение, 1977. — 391 с.
2. Ипполитов Г. М. Абразивные инструменты и их эксплуатация. — М.: Машгиз, 1959. — 256 с.
3. Армарего И. Дж. И., Браун Р. Х. Обработка металлов резанием / Пер. с англ. В. А. Пастухова. — М.: Машиностроение, 1977. — 325 с.
4. Бердиков В. Ф., Славин А. В., Крюков С. А. Склерометрическое моделирование основной составляющей процесса абразивной обработки — микрорезание абразивным зерном / Точность автоматизированных производств: сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф. ТАП-97. — Пенза, 1997. С. 156 – 158.
5. Ребиндер П. А. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика. — М.: Наука, 1979. — 384 с.
6. Крюков С. А., Шумячкер В. М. Стабилизация и регуляция структурно-механических характеристик абразивных инструментов. — Волгоград: ВолгГАСУ, 2013. — 178 с.
7. Падуков В. А., Антоненко В. А., Подозерский Д. С. Разрушение горных пород при ударе и взрыве. — Л.: Наука, 1971. — 160 с.
8. Гаршин А. П., Федотова С. М. Абразивные материалы и инструменты: технология производства: учеб. пособие. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. — 1009 с.

REFERENCES

1. Reznikov A. N. et al. Abrasive and diamond processing of materials: a Handbook. — Moscow: Mashinostroenie, 1977. — 391 p. [in Russian].
2. Ippolitov G. M. Abrasive tools and their operation. — Moscow: Mashgiz, 1959. — 256 p. [in Russian].
3. Armarego I. Dzh. I., Braun R. Kh. Metal cutting / Transl. V. A. Pastukhov. — Moscow: Mashinostroenie, 1977. — 325 p. [Russian translation].
4. Berdikov V. F., Slavin A. V., Kryukov S. A. Sclerometrical modeling a key component of the process of abrasion — microreserve abrasive grain / Accuracy of automated production: proc. of the Int. Sci.-Techn. Conf. TAP-97. — Penza, 1997. P. 156 – 158 [in Russian].
5. Rebinder P. Surface phenomena in disperse systems. Physico-chemical mechanics: Selected work. — Moscow: Nauka, 1979. — 384 p. [in Russian].
6. Kryukov S. A., Shumyacher V. M. Stabilization and regulation of the structural-mechanical characteristics of the abrasive tools: monograph. — Volgograd: VolgGASU, 2013. — 178 p. [in Russian].
7. Padukov V. A., Antonenko V. A., Podozerskii D. S. Destruction of rocks upon impact and explosion. — Leningrad: Nauka, 1971. — 160 p. [in Russian].
8. Garshin A. P., Fedotova S. M. Abrasive materials and tools: production technology: a tutorial. — St. Petersburg: Izd. Politekh. univ., 2008. — 1009 p. [in Russian].