А. С. Сазонова, Е. А. Терешина, Ю. С. Багайсков

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫСОКОЙ РАВНОМЕРНОЙ ТВЕРДОСТИ
ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ НА КЕРАМИЧЕСКОЙ СВЯЗКЕ**

**Волжский политехнический институт (филиал)
Волгоградского государственного технического университета**

E-mail: bagaiskov@post.volpi.ru

Повышение твердости материала абразивных инструментов может быть достигнуто за счет: использования в абразивных массах дополнительно к основным фракциям зерен мелкозернистых наполнителей. Проведение дополнительного помола данной связки на шаровой мельнице снижает ее зернистость до 32–36 мкм и, главное, обеспечивает более высокую равномерность. Полезно дополнительное введение в абразивную массу борного стекла в количестве до 15 % от массы связки. Оптимальный вариант – одновременное использование приведенных путей повышения твердости.

Ключевые слова: абразивный материал, шлифовальный круг, твердость, структура, керамическая связка, наполнитель, равномерность.

A. S. Sazonova, E. A. Tereshina, Yu. S. Bagaikov

ENSURING HIGH UNIFORM HARDNESS OF CERAMIC-BOND GRINDING WHEELS

**Volzhsky Polytechnic Institute (branch)
of the Volgograd State Technical University**

The hardness of the abrasive tool material can be increased as follows: use of fine-grained fillers in abrasive masses in addition to the main fractions. Additional grinding of this bond slightly decreases its grain size, approximately down to $32 - 36 \mu\text{m}$, and, above all, ensures higher uniformity. The additional introduction of the borosilicate glass based on fused alumina to the extent up to 15 % of the bond weight is of use. An optimum solution is the simultaneous application of the described ways to increase the hardness.

Keywords: abrasive material, grinding wheel, hardness, structure, ceramic bond, filler, uniformity.

Для профильного, силового, обдирочного шлифования применяются круги с высокой твердостью материала. Это позволяет иметь и наибольшую стойкость кругов [1], [2].

Абразивные круги на керамической связке по природе своего композиционного материала, наличия необходимой для шлифования пористой структуры, априори имеют ограниченную прочность и твердость [3], [4]. Степень твердости их композиционного материала оценивает-

ся как способность удержания абразивного зерна связкой, определяется объемным содержанием пор. Твердость и номер структуры определяют распределение и взаимоположение частиц абразива в среде связующего и пор [5].

На рис. 1 приведена зависимость изменения степени твердости от пористости (на примере смесей из электрокорунда на плавящейся связке и из карбида кремния на спекающей связке).

Рис. 1. Зависимость изменения степени твердости от пористости материала абразивных инструментов из электрокорунда (1) и карбида кремния (2)

Повышение твердости материала абразивных инструментов может быть достигнуто за счет использования в абразивных массах **дополнительно к основным** фракциям зерен мелкозернистых наполнителей;

Для композиционного материала абразивных инструментов на керамической связке характерно содержание абразива 40–60 %. Для общего диапазона концентрации 35–75 % расстояние между частицами составляет примерно от $1,24 D$ до $0,075 D$ (рис. 2).

Рис. 2. Зависимость расстояния между частицами абразива d , выраженного в диаметрах частиц D , от концентрации абразива V_o

Для количественной оценки введения мелкозернистых фракций абразивных материалов в массу дополнительно к основным можно взять геометрическую модель упаковки абразивных зерен в виде комплекта шаров. Формируется блок четырех зерен, каждый из которых контактирует с 3-мя остальными, в объеме же каждое зерно модели контактирует с 14 другими, находящиеся на поверхности – с 10.

Теоретические расчеты показывают, что доля свободного объема при плотной упаковке моделей (шаров) составляет 21,3 % [5], [6]. Фактически при учете коэффициента развитости поверхности абразивного зерна, удельных и насыпных весов всех компонентов абразивной массы, доля объема, приходящаяся на поры (и связку) при свободной насыпке массы составляет 55 %. Фактический объем пор больше теоретического в 0,55/0,213 раз, т.е. в 2,582 раза. В пересчете на линейный размер – диаметр зерна наполнителя по сравнению с диаметром зерна основного абразива (d_1): $d_{н\text{ факт}} = 1,73 \cdot d_n = 1,73 \cdot 0,213d_1 = 0,385d_1$, где коэффициент 1,73 получен из сравнения условных диаметров пор, фактического и теоретического.

Так, например, введение в абразивную смесь к электрокорунду зернистости F80 (160 мкм) наполнителя электрокорунда зернистости F180 – F220 (40–50 мкм) в количестве 10–15 % от массы абразива позволяет дополнительно увеличить плотность и прочность на 20–25 %.

Наибольшее значение имеет введение наполнителя для инструментов самой высокой твердости (степени ВТ-ЧТ), без наполнителя вообще затруднительно решить технологическую задачу в связи с работой на предельных давлениях формования.

Исследования также показали, что применение связки промышленного производства тонкого помола (например, марки K5C – 40 мкм) не является предельным. Проведение дополнительного помола данной связки на шаровой мельнице в течение 10–12 часов несколько снижает ее зернистость, примерно до меньше 32–36 мкм. Увеличение дисперсности связки влияет на повышение ее реакционноспособности, усиление диффузионных процессов в контакте абразивное зерно – связка, что приводит к повышению твердости материала инструмента (на 7–10 %), более равномерному распределению твердости, как по диаметру, так и по окружности круга.

Повысить прочность связей на границе фаз – абразивных частиц и связующих – можно кор-

ректировкой состава связующего с повышением адгезионных свойств.

Исследования показали эффективность дополнительного введения в массу на основе электрокорунда борного стекла B_2O_3 . Так называемое борное стекло представляет собой борно-силикатную фритту примерно следующего состава: Si O₂ – 69 %, Al₂O₃ – 3 %, Mg O – 5 %, Ca O – 3,5 %, Na₂O+K₂O – 3,5 %, B₂O₃ – 17 %. Расчеты показали, что реально добавление к связке примерно 15 % борного стекла дает возрастание B₂O₃ на 2–3 %. Даже такое изменение положительно влияет на прочностные свойства абразивного композита. Это приводит и к некоторому уменьшению температуры плавления связки – с 1230 °C до 1170–1190 °C. Повышается степень растекания связки по поверхности зерна абразива, уровень реакционной способности связки, усиливается активность адгезионного и диффузионного процессов, что подтверждается возрастанием содержания Al₂O₃ в приграничной зоне связки. В конечном итоге увеличивается прочность удержания зерна связкой, а также в целом прочность и твердость инструмента на 15–20 %.

Оптимальный вариант – одновременное использование приведенных путей повышения твердости абразивных инструментов на керамической связке. Изменение твердости материала на примере абразивных инструментов из электрокорунда белого зернистости F60 (250 мкм) с плавящейся связкой марок K5 и K5C без наполнителя, с наполнителем 25A F220 (50 мкм) с дополнительным помолом связки и при дополнительном введении борного стекла приведены на рис. 3.

Имеется пример успешной разработки высокотвердых шлифкругов диаметром 400–500 мм высотой 13–26 мм для скорости резания 60 м/с.

Таким образом, проблема повышения физико-механических свойств и степени твердости композиционного материала абразивных инструментов на керамической связке решается при использовании связки с более тонким фракционным составом, имеющей более высокие адгезионные свойства по отношению к абразиву и собственные прочностные показатели, введением наполнителя – абразива того же вида, но меньшей в 3–4 раза зернистости в количестве 10–15 % от массы абразива основной фракции, также дополнительно борного стекла до 15 % от массы связки и помола связки до крупности 32–36 мкм.

Рис. 3. Степень твердости материала абразивных инструментов из электрокорунда F60 с плавящейся связкой K5 (1), K5C (2), с наполнителем 25AF220 (3), с дополнительным помолом связки (4), с дополнительным введением борного стекла (5), K5C с наполнителем, дополнительным борным стеклом и помолом (6)

Повышается вероятность лучшего удержания зерен связкой под действием нагрузок при эксплуатации, большее число раз контактируют они с материалом детали, что приводит как к увеличению размерной стойкости инструмента и наработки (по числу обработанных деталей), так и к повышению съема металла и коэффициента шлифования. За счет регулирования содержания связки можно добиться улучшения всех показателей, не изменяя степени твердости инструмента, принятой для данной операции шлифования, и при необходимости существенно повысить твердость кругов для обработки профильных деталей, для силового и обдирочного шлифования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Островский, В. И. Теоретические основы процесса шлифования / В. И. Островский. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1981. – 234 с.

2. Ковальчук, Ю. М. Основы проектирования и технология изготовления абразивного и алмазного инструмента / Ю. М. Ковальчук. – М.: Машиностроение, 1984. – 206 с.

3. Гаршин, А. П. Абразивные материалы и инструменты. Технология производства: учеб. пособие / А. П. Гаршин, С. М. Федотова / под общ. ред. проф. А. П. Гаршина. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 1010 с.

4. Репринцев, Н. И. Физико-механические свойства абразивного инструмента в связи с его прочностными показателями / Н. И. Репринцев, В. М. Шумячер // Сборник статей конференции «Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы». – Волжский. – 1999. – С. 75–76.

5. Багайсков, Ю. С. Повышение эксплуатационных показателей изделий из абразивных композиционных материалов: монография / Ю. С. Багайсков, В. М. Шумячер; Федеральное агентство по образованию, ВолгГАСУ, ВИСТех (фил.) ВолгГАСУ. – Волгоград: ВолгГАСУ, ВИСТех (фил.) ВолгГАСУ, 2005. – 200 с.

6. Багайсков, Ю. С. Анализ особенностей формирования пористой структуры абразивных инструментов / Ю. С. Багайсков, Сборник статей конференции «Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы». – Волжский, 1999. – С. 67–69.