

УДК 622.378

А.П. Вержанский, П.И. Дубинин

ИЗНОС АЛМАЗНОГО ЗЕРНА ПРИ УПРУГОМ ШЛИФОВАНИИ ПРИРОДНОГО КАМНЯ

Рассмотрен механизм износа алмазного зерна алмазно-абразивного инструмента при упругом шлифовании в зависимости от физико-технических свойств природного камня, алмазного зерен, величины и скорости трансформирования энергии в камень за один цикл разрушения.

Ключевые слова: алмазное зерно, радиус округления, диаметр зерна, предел прочности при раздавливании, предел прочности при растяжении, алмазно-абразивный инструмент, энергия, мощность, скорость трансформирования энергии, время цикла разрушения, экстремальный износ.

A.P. Verjanskiy, P.I. Dubinin DETERIORATION OF THE DIAMOND GRAIN AT ELASTIC GRINDING OF A NATURAL STONE

The mechanism of deterioration of diamond grain of the almazno-abrasive tool is considered at elastic grinding depending on physico-technical properties of natural stone, diamond grains, size and speed of transformation of energy in a stone for one cycle of destruction.

Key words: diamond grain, rounding off radius, diameter of grain, strength at a stretching, the almazno-abrasive tool, energy, capacity, speed of transformation energy, time of a cycle of destruction, extreme deterioration.

Шлифующие алмазные зерна являются многогранниками неправильной формы и имеют округленные вершины (рис. 1). По абсолютной величине это округленность не велика, но ее всегда надо учитывать, так как при шлифовании толщины слоев, снимаемых отдельными зернами, соизмеримы с величиной радиуса округления (r_o , мкм). В результате округленности обеспечиваются отрицательные передние углы резания, резко повышающие динами-

ческую прочность алмазных зерен и сопротивляемость их силам, действующим на них [1, 2, 5, 7, 8, 9].

Площадь сечения в рабочей зоне абразивного зерна уменьшается, если это сечение приближать к его режущей кромке, имеющей начальный радиус округления r_o , (рис. 2).

Напряжение в каждом сечении определяется силой $F_i^!$, действующей на абразивное зерно и величиной площади сечения, $\sigma_i = F_i^! / S_i$.

Величина критического сечения определяется как начальная площадь пятна контакта абразивного зерна с камнем:

$$S_i = S_{ki} = \pi k_r^2 r_o^2, \quad (1)$$

где r_o – начальный радиус округления режущей кромки; k_r – коэффициент контакта режущей кромки зерна.

Начальный радиус округления режущей кромки абразивного зерна определяет величину максимальной силы $F_i^!$:

$$r_o = \sqrt{\frac{F_i^!}{\pi k_r^2 [\sigma_p]_a}} \quad (2)$$

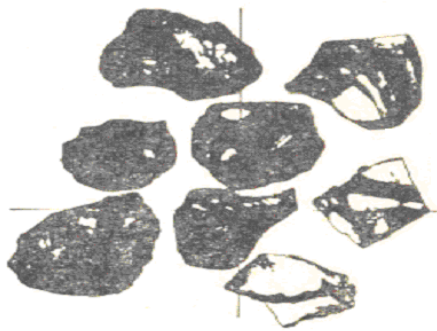


Рис. 1. Кристаллы природного алмаза A250/200, сфотографированные в проходящем свете

Увеличение площади контакта, при постоянной толщине разрушаемого слоя H_i , приводит к увеличению силы F_i^1 , действующей на абразивное зерно. Следовательно, для обеспечения оптимального режима хрупкого разрушения природного камня при шлифовании камня с минимальным износом абразивного зерна, необходимо строго выдерживать значение силы F_i^1 .

При шлифовании алмазно-абразивное зерно движется по вновь образованной поверхности камня, возникающая сила трения равна

$$F_{\text{тр}i} = f_{\text{тр}} F_{\text{ни}} \quad (3)$$

где $f_{\text{тр}}$ – коэффициент трения абразивного зерна о камень; $F_{\text{ни}}$ – сила прижима, определяемая с учетом оптимального угла скола β и силы разрушения F_{pi} [10]:

$$F_{\text{ни}} = F_{\text{pi}} \frac{\sin \beta}{\cos \beta - f_{\text{mp}} \sin \beta} \quad (4)$$

Работа силы трения

$$A_{\text{тр}} = f_{\text{тр}} F_{\text{ни}} l \quad (5)$$

расходуется на нагревание абразивного зерна и камня, а также на износ материала зерна:

$$A_{\text{тр}} = Q_{\text{т}} + Q_{\text{и}} \quad (6)$$

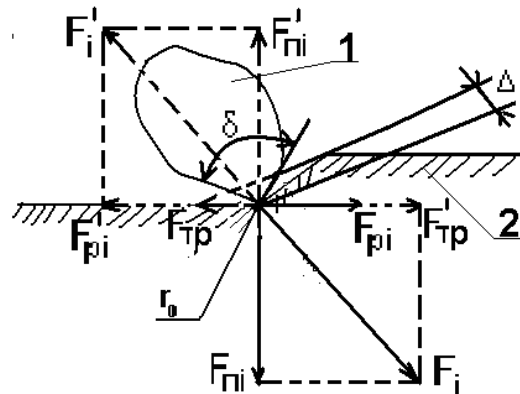


Рис. 2. Схема изнашивания абразивного зерна: 1 – алмазное зерно; 2 – камень; r_0 – начальный радиус округления режущей кромки алмазного зерна; δ – угол режущей кромки; Δ – линейный износ алмазного зерна, β – угол скола камня

где $Q_{\text{т}}$ – энергия, затраченная на нагревание, $Q_{\text{и}}$ – энергия, затраченная на изнашивание абразивного зерна, l – длина пути абразивного зерна по дуге контакта с камнем. Введем термический коэффициент, который показывает долю энергии, идущей на нагрев зерна и камня [10]:

$$K_{\text{т}} = [Q_{\text{и}}/Q_{\text{т}} + 1], \quad (7)$$

Величину $Q_{\text{т}}$ запишем в виде:

$$Q_{\text{т}} = [\sigma_{\text{p}}]_{\text{a}}^2 V_{\sigma} / E_{\text{a}} \quad (8)$$

где $[\sigma_{\text{p}}]_{\text{a}}$ и E_{a} – соответственно предел прочности на раздавливание и модуль Юнга абразивного зерна, V_{σ} – объем изношенного материала абразивного зерна, который имеет форму конуса с диаметром основания $k_{\text{к}} d_3$:

$$V_{\sigma} = \frac{1}{12} k_{\text{к}}^2 \pi d_3^2 \Delta \quad (9)$$

После подстановки V_{σ} (9) в (8), получим:

$$Q_{\text{т}} = \frac{k_{\text{к}}^2 \pi d_3^2 \Delta [\sigma_{\text{p}}]_{\text{a}}^2}{12 E_{\text{a}}} \quad (10)$$

Применяя $Q_{\text{т}}$ (10) и $A_{\text{тр}}$ (5), с учетом $K_{\text{т}}$ (7), составим уравнение износа абразивного зерна

$$f_{mp} l F_{ni} = \frac{k_{\kappa}^2 \pi d_3^2 K_T \Delta [\sigma_p]_a^2}{12 E_a} \quad (11)$$

из которого определяется линейный износ зерна:

$$\Delta = \frac{12 f_{mp} l F_{ni} E_a}{k_{\kappa}^2 \pi d_3^2 K_T [\sigma_p]_a^2} \quad (12)$$

Введя в (12) значение F_{ni} (4), получим:

$$\Delta = \frac{6 k_{\kappa} d_3 f_{mp} l E_a \mu k_{\phi} F_{pi}}{\pi k_{nl} K_T [\sigma_p]_a^2 H_i} \times \frac{\sin \beta}{(\cos \beta - f_{mp} \sin \beta)} \quad (13)$$

Анализ выражений (12) и (13) показывает, что износ абразивного зерна возрастает при повышении коэффициента трения, силы разрушения F_{pi} и увеличении зернистости алмазного инструмента d_3 , снижается пропорционально $[\sigma_p]_a^2$ при возрастании прочности абразивного зерна. Поэтому, для обеспечения максимальной производительности V_{max} [3], с минимальным расходом алмаза, при шлифовании природного камня большой прочности следует применять высокопрочные алмазные зерна, оптимального диаметра d_3 [4].

Согласно кинетической теории акад. Журкова С.Н., прочность природного камня зависит от времени энергетического воздействия [6]:

$$\sigma = \frac{[\varepsilon] E}{D} - \frac{(aT + \gamma_Q Q) E \ln \frac{\tau_u}{\tau_o}}{3D} \quad (14)$$

где $[\varepsilon]$ – критическая относительная деформация, при достижении которой твердое тело разрушается; E – модуль Юнга; D – коэффициент концентрации напряжений; a – коэффициент теплового расширения; T –

температура; γ_Q – коэффициент энергетического расширения; Q – энергия, введенная в камень; τ_u – время энергетического воздействия (цикла разрушения); $\tau_o \approx 10^{-12}$ период колебаний ионов кристаллической решетки.

Время, в течение которого осуществляется процесс единичного цикла разрушения, определяется из выражения [10]:

$$\tau_u = \frac{\pi k_{\kappa} d_3 F_{pi}}{6 N_i} \quad (15)$$

где N_i – мощность трансформирования энергии алмазным зерном на один цикл разрушения камня.

Скорость трансформирования энергии при шлифовании камня является одним из основных факторов, определяющих износ абразивного зерна.

Применив в выражении (13) значение H_i [3], с учетом $l = v_p \tau$, где v_p – скорость перемещения алмазного зерна по забою, после преобразований получим:

$$\Delta = \frac{\pi k_{\kappa}^3 d_3^3 f_{mp} v_p E_a \sigma_p F_{pi} \sin \beta}{2 K_T [\sigma_p]_a^2 N_i (\cos \beta - f_{mp} \sin \beta)} \quad (16)$$

Применив в (16) значение σ по (14) получим:

$$\Delta = \frac{\pi k_{\kappa}^3 d_3^3 f_{mp} v_p E_a \tau_u F_{pi} \sin \beta}{2 K_T [\sigma_p]_a^2 N_i (\cos \beta - f_{mp} \sin \beta)} \times \left[\frac{[\varepsilon] E}{D} - \frac{(aT + \gamma_Q Q) \ln \left(\frac{\tau_u}{\tau_o} \right)}{3D} \right] \quad (17)$$

Применив в (17) значение Sk_i [3], после преобразований получим зависимость износа алмазного зерна от площа-

ди контакта с учетом свойств природного камня, алмазного зерна и параметров динамического воздействия:

$$\Delta = \frac{8\sqrt{S_{ки}^3} f_{mp} v_p E_a \tau_u F_{pi} \sin \beta}{2\sqrt{\pi} K_r [\sigma_p]_a^2 N_i (\cos \beta - f_{mp} \sin \beta)} \times \left[\frac{[\varepsilon] E}{D} - \frac{(\alpha T + \gamma_q Q) \ln \left(\frac{\tau_u}{\tau_o} \right)}{3D} \right] \quad (18)$$

Увеличение площади контакта абразивного зерна $S_{ки}$ с камнем приводит к повышению температуры, при которой нагрузка на абразивное

зерно превысит предел прочности при раздавливании $[\sigma_p]_a$ или предел прочности связки инструмента $[\sigma_{св}]$, что приводит к полному или частичному разрушению абразивного зерна, или вырыванию его из связки (экстремальный износ). Экстремальный износ абразивного инструмента является основной причиной повышенного удельного расхода алмаза, однако, он необходим для образования новых режущих кромок и вскрытия новых абразивных зерен на рабочей поверхности инструмента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Балыков А.В., Попов С.А.* Влияние рельефа рабочей поверхности алмазных кругов на их работоспособность и шероховатость обработанных поверхностей. Межвузовский сборник «Вероятностно-статистические основы процессов шлифования и доводки». – Л., СЭПИ, 1974.
2. *Глейзер Л.А.* О сущности процесса круглого шлифования. – В кн. Вопросы точности в технологии машиностроения. – М., Машгиз, 1959, с. 5-24.
3. *Дубинин П.И.* Исследование динамики процесса круглого алмазного фрезерования и шлифования тонкостенных художественных изделий из камня. – М., Горный информационно-аналитический бюллетень, №6, 2005, с.
4. *Дубинин П.И.* Особенности механизма разрушения природного камня единичным алмазным зерном при глубинном врезном шлифовании. – Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. тр. – Магнитогорск: МГТУ, 2005, с. 214-226.
5. *Дуда Т.М.* Взаимодействие на границах контакта алмаз-покрытие-связка. – Киев, Сверхтвердые материалы, 1986, № 5, с. 30-32.
6. *Журков С.Н.* К вопросу о физической природе прочности. – М.: ФТТ, т. 22, вып. 11, 1980, с. 13-15.
7. *Маслов Е.Н.* Основные закономерности высокопроизводительного шлифования. – В кн.: Высокопроизводительное шлифование – М.: АН СССР, 1962, с. 3-17.
8. *Маслов Е.Н.* Теоретические основы процесса алмазной обработки материалов. – В кн.: Обработка машиностроительных материалов алмазным инструментом. – М.: Наука, 1966, с. 14-29.
9. *Попов С.А.* Шлифовальные работы. Учебник для СПТУ. – М.: Высшая школа, 1987, 383 с.
10. *Протасов Ю.И.* Разрушение горных пород. – М.: МГТУ, 2002, 453 с. **ГИАБ**

Коротко об авторах

Вержанский А.П. – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Технология машиностроения и ремонта горных машин»,
Дубинин П.И. – заведующий лабораторией кафедры «Физика горных пород и процессов»,
 Московский государственный горный университет,
 Moscow State Mining University, Russia, ud@msmu.ru