

УДК 621, 622.026.3

В. И. Морозов, д.т.н., проф., **П. И. Дубинин**, к.т.н., доц., **Л. П. Дубинина**, аспирант, Московский государственный горный университет

E-mail: jathom@list.ru

Технологическое обеспечение процессов алмазного выбуривания кернов природного камня

Определены технологические параметры режима алмазного выбуривания кернов в зависимости от свойств горных пород (природного камня), алмазных зёрен и размеров буровой коронки.

Ключевые слова: природный камень, алмазное керновое бурение, буровая коронка, параметры режима бурения, осевая нагрузка, частота вращения, крутящий момент.

V. I. Morozov, P. I. Dubinin, L. P. Dubinina

Technological Support of Diamond Coring Natural Stone

Determined by the technological parameters of diamond coring mode depending on the properties of rocks (natural stone), diamond grains and the dimensions of the drill bit.

Keywords: natural stone, diamond core drilling, drill bit, drill mode parameters, axial load, speed and torque.

Для получения кернов крепких горных пород (природного камня) наиболее эффективным способом является алмазное вращательное бурение. Основными режимными параметрами при этом способе бурения являются:

$F_{ос}$ – осевая нагрузка на коронку, Н;

N_k – частота вращения коронки, c^{-1} ;

$M_{кр}$ – крутящий момент, приложенный к коронке и обеспечивающий её вращение с указанной частотой, Нм.

Для осуществления процесса алмазного бурения с максимальной производительностью и минимальной энергоёмкостью необходимо обеспечить оптимальные условия взаимодействия алмазных зёрен с природным камнем.

При алмазно-абразивном бурении каждое алмазное зерно движется по своей винтовой линии (рис. 1).

Параметры бурения: D_c – диаметр скважины; D_n – наружный диаметр коронки; $D_{вн}$ – внутренний диаметр коронки; D_k – диаметр керна; v_n – скорость подачи инструмента; v_k – окружная скорость вращения коронки; H – толщина «стружки», разрушаемой единичным алмазным зерном; θ –

угол наклона винтовой линии к поверхности контакта рабочего слоя коронки с камнем.

За один оборот коронки каждое алмазное зерно разрушит слой камня («срежет стружку») толщиной:

$$H = \pi D_n \frac{v_n}{v_k} \quad (1)$$

где D_n – наружный диаметр коронки, мм; v_n – скорость подачи инструмента на забой, м/с; v_k – окружная скорость вращения коронки, м/с.

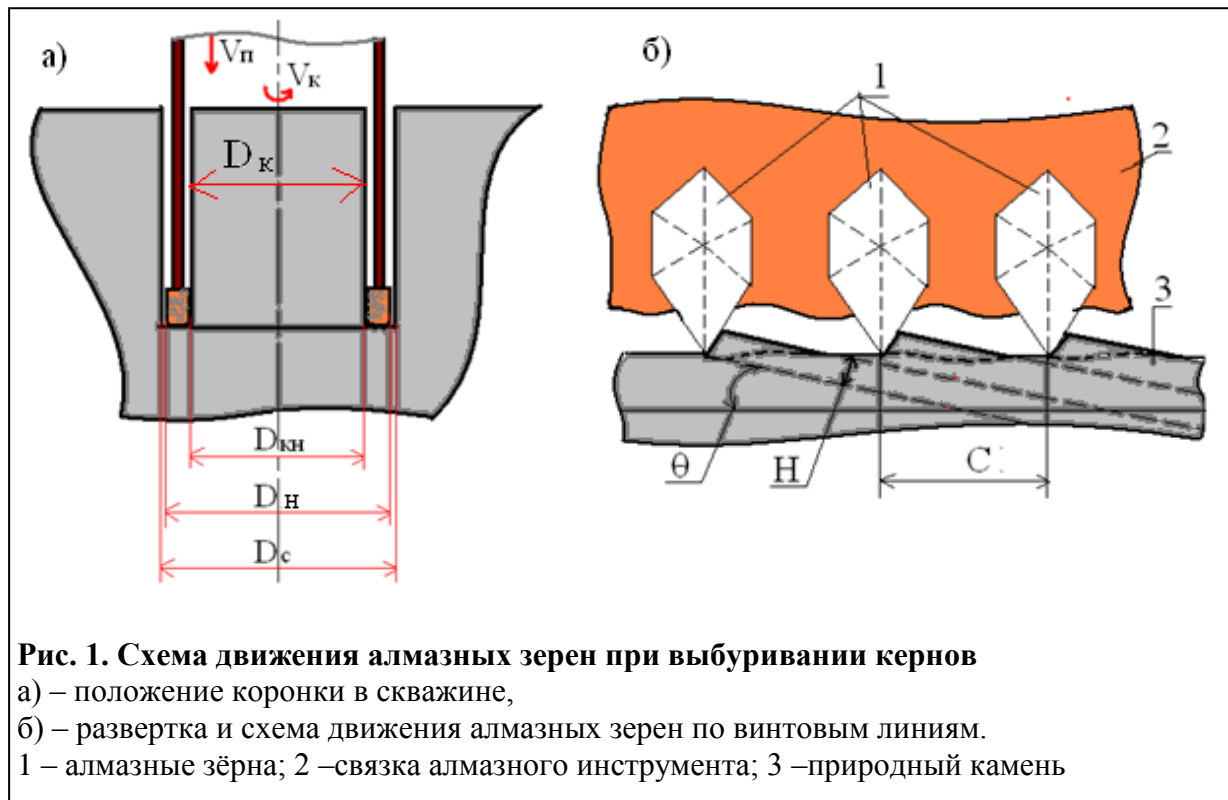


Рис. 1. Схема движения алмазных зерен при выбуривании кернов

а) – положение коронки в скважине,

б) – развертка и схема движения алмазных зерен по винтовым линиям.

1 – алмазные зёрна; 2 –связка алмазного инструмента; 3 –природный камень

В зависимости от толщины стружки процесс разрушения камня может осуществляться в режиме скола или выкола (рис. 2)

Энергоемкость разрушения природного камня в режиме скола на порядок меньше, чем в режиме выкола [7]. Максимальный объем разрушения с минимальной энергоёмкостью процесса достигается при оптимальной толщине слоя, разрушаемого единичным алмазным зерном сколом

[2, с.220]:

$$H_{opt} = \frac{12k_\phi \mu (1 - 2\mu) \sqrt{\pi F_{pi} [\sigma_p]_a^3}}{k_{nl} \sigma_p E} \quad (2)$$

где: где k_ϕ – коэффициент формы отбиваемого объема камня V_i , с учетом отклонения от формы параллелепипеда;

μ -коэффициент Пуассона камня;

E – модуль Юнга камня, МПа;

F_{pi} – сила разрушения камня единичным алмазным зерном в режиме скола, Н;

$[\sigma_p]_a$ – предел прочности алмазных зерен при раздавливании, МПа;

$k_{пл}$ – коэффициент пластичности камня;

σ_p – предел прочности камня при растяжении, МПа.

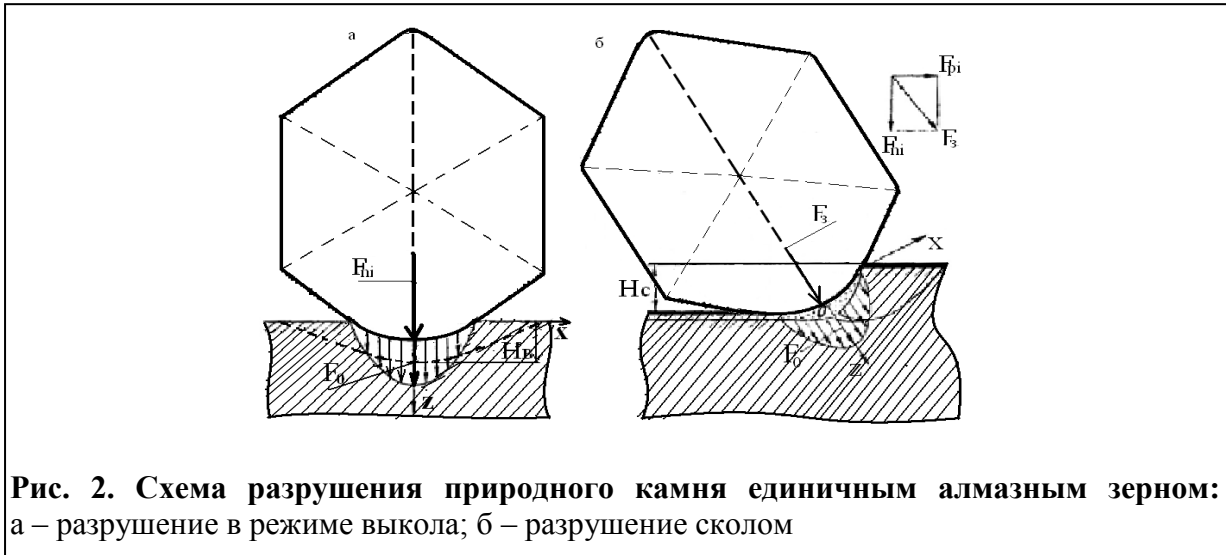


Рис. 2. Схема разрушения природного камня единичным алмазным зерном: а – разрушение в режиме выкола; б – разрушение сколом

Применив в выражении (1) значение $H_{опт}$ (2), с учетом того, что при вращательном бурении с силой разрушения камня единичным алмазным зерном F_{pi} , окружная скорость вращения коронки ограничивается оптимальной скоростью перемещения алмазных зерен по камню [1, с. 40]:

$$v_k \cong v_p = \frac{0.34}{\tau_{ц}} \sqrt{\frac{k_{\phi} d_k^3 \mu E}{k_{пл} (1 - 2\mu) \sigma_p H_{опт}}}, \quad (3)$$

определим скорость подачи скорости подачи коронки на забой:

$$v_n = 0,5 \frac{\sqrt{d_k^3 \sqrt{F_{pi}} [\sigma_p]_a^3}}{k_{пл} D_k \sigma_p \tau_{ц}}, \quad (4)$$

где: d_k – диаметр пятна контакта алмазного зерна с камнем, м;

$\tau_{ц}$ – время единичного цикла разрушения, с.

Для обеспечения эффективного разрушения сколом необходимо постоянно выдерживать оптимальную толщину стружки. Оптимальная толщина стружки обеспечивается за счёт силы подачи коронки на забой (осевая нагрузка на забой). Осевая нагрузка на забой является результирующей единичных сил алмазных зерен, осуществляющих процесс разрушения в режиме выкола:

$$F_{oc} = \sum_{i=1}^{i=h_0} F_{iv}, \quad (5)$$

где F_{iv} – сила разрушения природного камня единичным алмазным зерном в режиме выкола, Н;

n_0 – количество алмазных зерен на рабочей поверхности коронки.

Сила разрушения природного камня единичным зерном в режиме выкола определяется с учётом прочности алмазных зерен при раздавливании, выражением:

$$F_{i6} = 3,3 \times 10^{-3} * \frac{k_{nl}^2 \sigma_p^2 E^2 H_{onm}^2}{k_{\phi}^2 \mu^3 (1 - 2\mu) [\sigma_p]_a^3} \quad (6)$$

Количество алмазных зерен на рабочей поверхности коронки зависит от технологии изготовления инструмента, геометрических размеров алмазных зерен и алмазоносного слоя. Для буровых коронок, изготовленных на металлической связке, количество алмазных зерен, участвующих в процессе разрушения, определяется из выражения [3, с.36]:

$$n_o = 0,92 \cdot 10^{-2} \frac{K_a}{d_3^2} S_k \quad (7)$$

где: K_a – относительная концентрация алмазов в алмазоносном слое, %;
 d_3 – средний диаметр алмазного зерна, определяемый с учетом минимально допустимого размера зерен, мм ;

S_k – площадь контакта буровой коронки с камнем, мм².

Площадь контакта определяется исходя из геометрических размеров алмазной коронки (рисунок 3):

$$S_k = N_k S_i \quad (8)$$

$$N_k = \frac{\pi D_n}{l_c + l_3} \quad (9)$$

S_i – площадь рабочей поверхности алмазоносного элемента, мм².

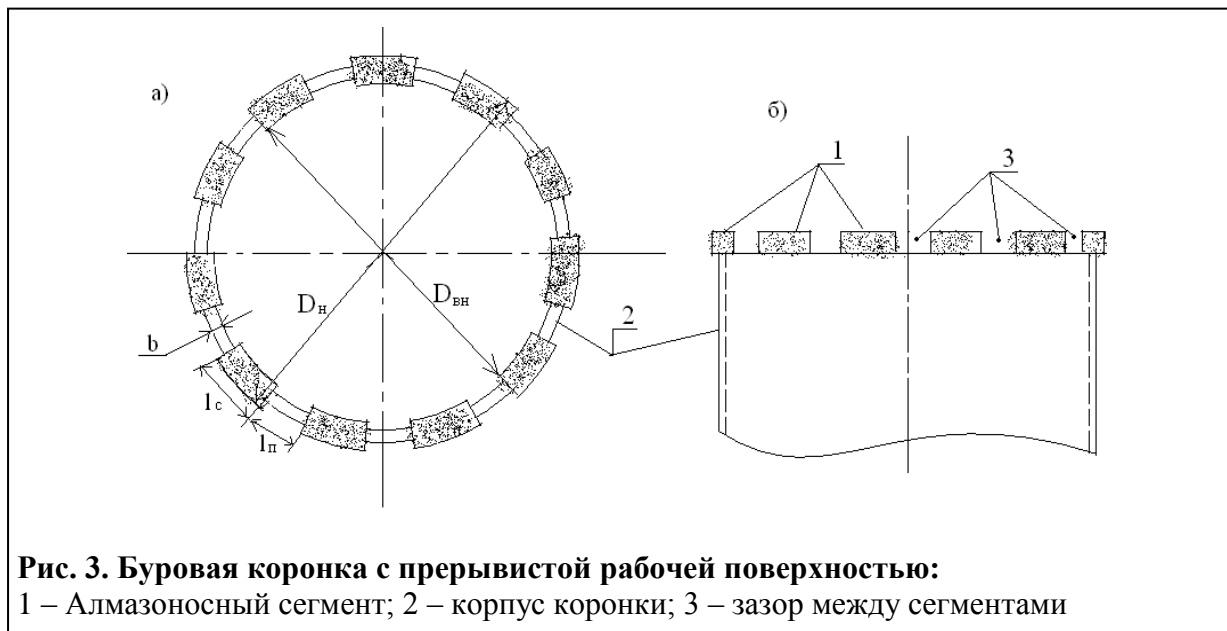


Рис. 3. Буровая коронка с прерывистой рабочей поверхностью:

1 – Алмазоносный сегмент; 2 – корпус коронки; 3 – зазор между сегментами

D_n – наружный диаметр коронки; $D_{вн}$ – внутренний диаметр коронки;

$$S_i = \frac{4\pi l_c}{D_n} (D_n^2 - D_{вн}^2), \quad (10)$$

где: l_c – длина дуги алмазосного сегмента по наружному диаметру коронки, мм;

l_{Π} – величина зазора между алмазосными сегментами, мм;

D_n – наружный диаметр коронки мм;

$D_{вн}$ – внутренний диаметр коронки, мм.

Применив в (7) значения N_k (9) и S_i (10), определим количество алмазных зёрен на рабочей поверхности коронки, участвующих в процессе бурения:

$$n_0 = 0,95 * 10^{-2} \frac{K_a l_c}{d_3^2 (l_c + l_{\Pi})} (D_n^2 - D_{вн}^2) \quad (11)$$

Применив в выражении (5) значения $F_{ив}$ (6) и n_0 (11), после преобразований определим рациональную осевую нагрузку на забой (рис. 4):

$$F_n = 3,04 \times 10^{-5} * \frac{K_a l_c}{d_3^2 (l_c + l_{\Pi})} (D_n - D_{вн}) * \frac{k_{nl}^2 \sigma_p^2 E^2 H_{onm}^2}{k_{\phi}^2 \mu^2 (1 - 2\mu) [\sigma_p]_a^3} \quad (12)$$

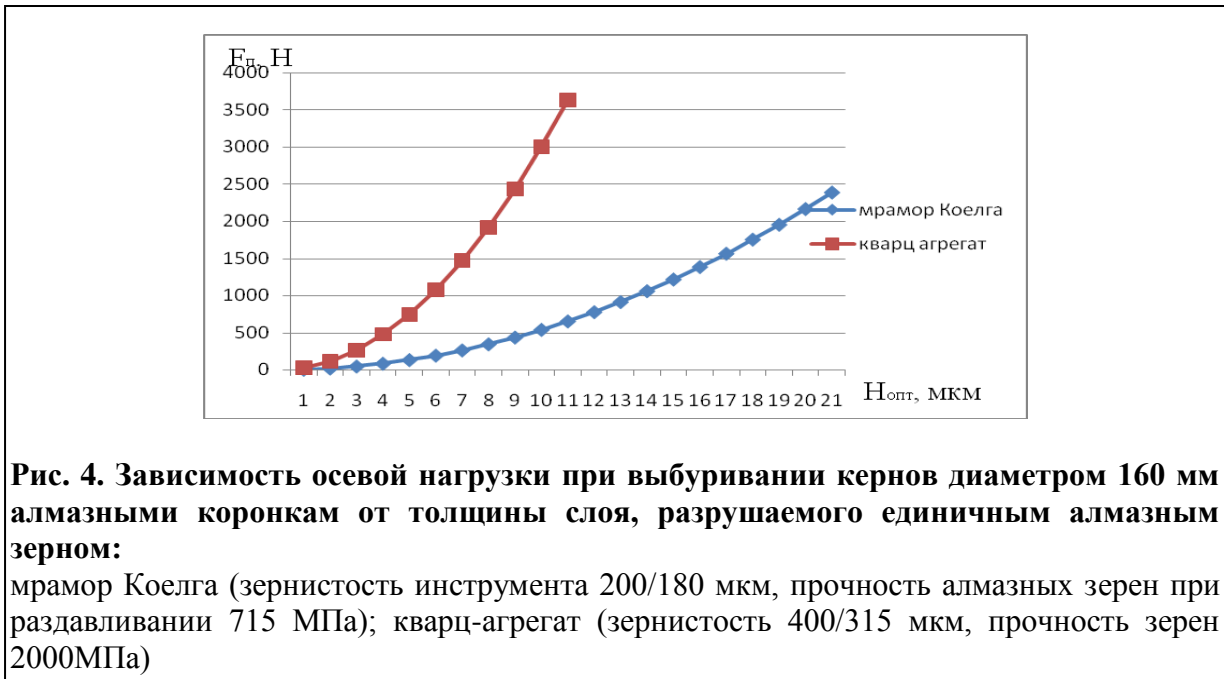


Рис. 4. Зависимость осевой нагрузки при выбуривании кернов диаметром 160 мм алмазными коронкам от толщины слоя, разрушаемого единичным алмазным зерном:

мрамор Коелга (зернистость инструмента 200/180 мкм, прочность алмазных зерен при раздавливании 715 МПа); кварц-агрегат (зернистость 400/315 мкм, прочность зерен 2000МПа)

Для обеспечения вращения инструмента необходимо приложить силу, величина которой определяется суммой единичных сил алмазных зерен, осуществляющих процесс разрушения в режиме скола:

$$F_{сп} = \sum_{i=1}^{i=n_0} F_{pi} \quad (13)$$

Сила разрушения природного камня единичным зерном в режиме скола определяется с учётом прочности алмазных зерен при раздавливании, выражением:

$$F_{pi} = 2,21 \times 10^{-3} * \frac{k_{nl}^2 \sigma_p^2 E^2 H_{onm}^2}{k_{\phi}^2 \mu^2 (1 - 2\mu)^2 [\sigma_p]_a^3} \quad (14)$$

Применив в выражении (13) значения F_{pi} (14) и n_0 (11), после преобразования получим значение силы, необходимой для обеспечения вращения буровой коронки:

$$F_{вр} = 2,21 \times 10^{-5} * \frac{K_a l_c}{d_3^2 (l_c + l_{II})} (D_n^2 - D_{вн}^2) * \frac{k_{нл}^2 \sigma_p^2 E^2 H_{онм}^2}{k_{\phi}^2 \mu^2 (1 - 2\mu)^2 [\sigma_p]_a^3} . \quad (15)$$

Частота вращения буровой коронки определяется с учётом допустимой скорости перемещения алмазных зерен по камню v_p (3) из выражения:

$$N_k = \frac{6,49}{\tau_{ц} D_n} \sqrt{\frac{k_{\phi} d_3^3 \mu E}{k_{нл} (1 - 2\mu) \sigma_p H_{онм}}} , \quad (16)$$

Крутящий момент, приложенный к коронке и обеспечивающий её вращение с частотой N_k , определяется из выражения:

$$M_{кр} = 2,21 \times 10^{-5} \frac{K_a l_c}{d_3^2 (l_c + l_{II})} (D_n^2 - D_{вн}^2) \sqrt{\frac{D_n^2 + D_{вн}^2}{2}} * \frac{k_{нл}^2 \sigma_p^2 E^2 H_{онм}^2}{k_{\phi}^2 \mu^2 (1 - 2\mu)^2 [\sigma_p]_a^3} . \quad (17)$$

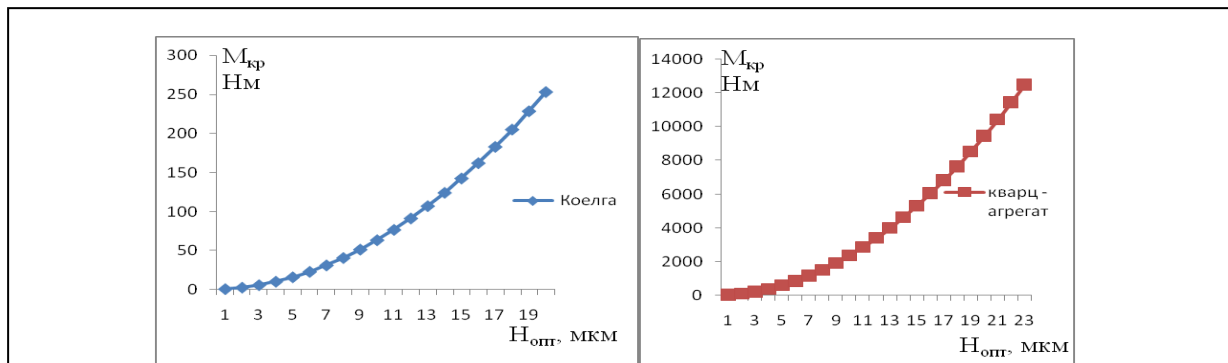


Рис. 5. Зависимость крутящего момента при выбуривании кернов природного камня диаметром 160 мм алмазными коронками от толщины слоя, разрушаемого единичным алмазным зерном:

мрамор Коелга (зернистость инструмента 200/180 мкм, прочность алмазных зерен 715 МПа); кварц-агрегат (зернистость 400/315 мкм, прочность зерен 2000 МПа)

Список литературы

1. **Вержанский А.П., Дубинин П.И.** Механизм разрушения камня единичным алмазным зерном при круглом шлифовании. – Технология машиностроения, №11, 2009.
2. **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.
3. **Кичигин А.Ф., Игнатов С.Н., Климов Ю.И., Ярема В.Д.** Алмазный инструмент для разрушения крепких горных пород. - М.: Недра, 1980.
4. **Крюков Г.М.** Физика разрушения горных пород при бурении и взрывании. Часть 1. Основы теорий деформирования и разрушения горных пород при бурении и взрывании. Учебное пособие. – М.; МГТУ. 2002. С. 134.
5. **Протасов Ю.И.** Разрушение горных пород. – М.: МГТУ, 2002, С. 453.