

УДК 622.243.3

**А.П. Вержанский, П.И. Дубинин, В.В. Девятьярова,
С.П. Дубинин**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМОВ АЛМАЗНОГО КЕРНОВОГО БУРЕНИЯ КРЕПКИХ ГОРНЫХ ПОРОД

Определены технологические параметры режима алмазного кернового бурения 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.

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.

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

Энергоёмкость разрушения природного камня в режиме скола на порядок меньше, чем в режиме выкола [7]. Максимальный объём разрушения с минимальной энергоёмкостью процесса достигается при оптимальной толщине слоя, разрушаемого единичным алмазным зерном сколом [2, с.220]:

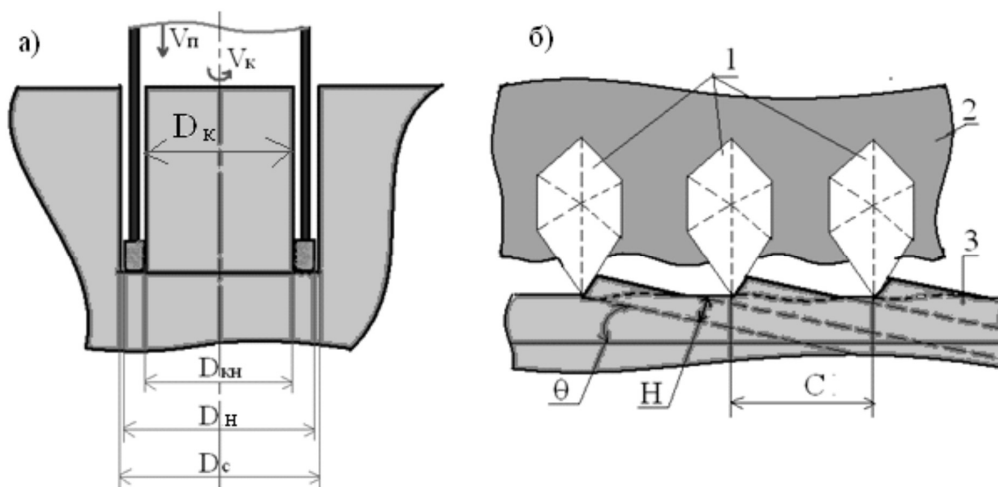


Рис. 1. Схема движения алмазных зерен при выбуривании кернов: а) – положение коронки в скважине, б) – развертка и схема движения алмазных зерен по винтовым линиям. 1 – алмазные зёрна; 2 – связка алмазного инструмента; 3 – природный камень

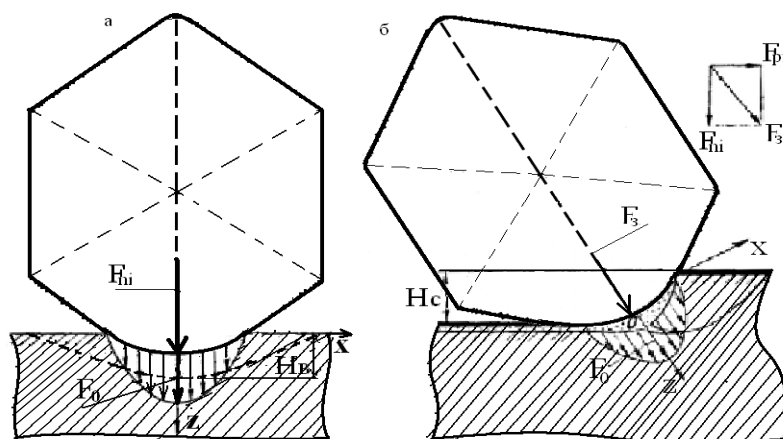


Рис. 2. Схема разрушения природного камня единственным алмазным зерном: а – разрушение в режиме выкола; б – разрушение сколом

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

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 единственным 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.

Применив в выражении (1) значение $H_{\text{отт}}$ (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]:

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

определим скорость подачи скорости подачи коронки на забой:

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

где d_k – диаметр пятна контакта алмазного зерна с камнем, м; $\tau_{\text{ц}}$ – 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:

$$F_{\text{oc}} = \sum_{i=1}^{i=n_0} F_{\text{is}}, \quad (5)$$

где $F_{\text{ив}}$ – 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:

$$F_{\text{is}} = 3,3 \times 10^{-3} * \frac{k_{\text{нл}}^2 \sigma_p^2 E^2 H_{\text{отт}}^2}{k_{\phi}^2 \mu^3 (1-2\mu) [\sigma_p]_a^3}. \quad (6)$$

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 (рис. 3):

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

где N_k – количество алмазоносных элементов буровой коронки, шт.;

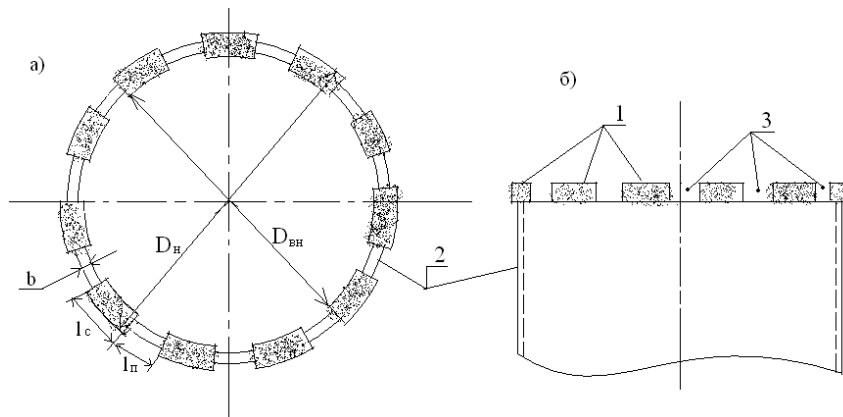


Рис. 3. Буровая коронка с прерывистой рабочей поверхностью: 1 – алмазоносный сегмент; 2 – корпус коронки; 3 – зазор между сегментами. D_n – наружный диаметр коронки; $D_{вн}$ – внутренний диаметр коронки

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

S_i – площадь рабочей поверхности алмазоносного элемента, мм^2 ,

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

где l_c – длина дуги алмазоносного сегмента по наружному диаметру коронки, мм; $l_п$ – величина зазора между алмазоносными 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:

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

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

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

Для обеспечения вращения инструмента необходимо приложить силу, величина которой определяется суммой единичных сил алмазных зёрен, 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 зёрен при раздавливании, выражением:

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

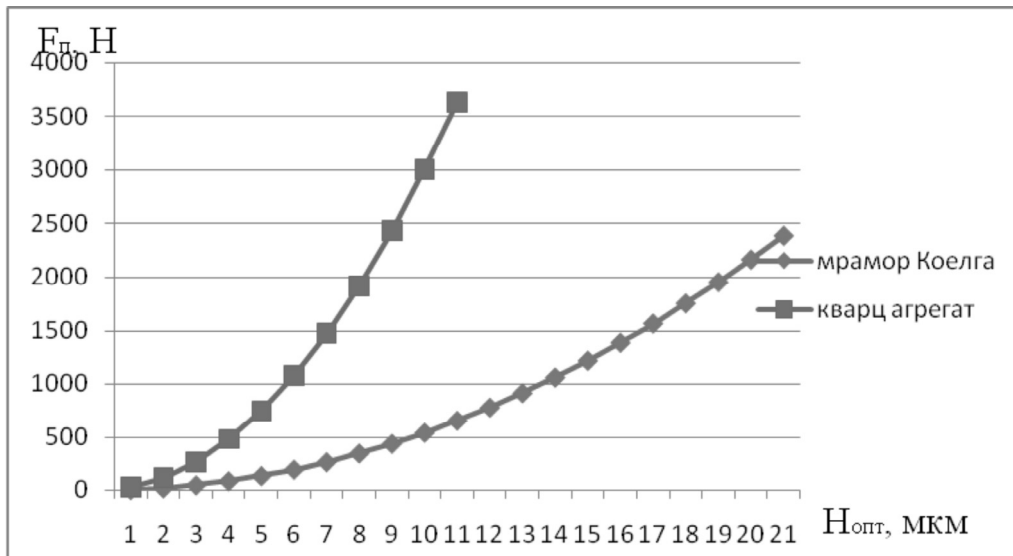


Рис. 4. Зависимость осевой нагрузки при выбуривании кернов диаметром 160 мм алмазными коронкам от толщины слоя, разрушаемого единичным алмазным зерном: мрамор Коелга (зернистость инструмента 200/180 мкм, прочность алмазных зерен при раздавливании 715 МПа); кварц-агрегат (зернистость 400/315 мкм, прочность зерен 2000МПа)

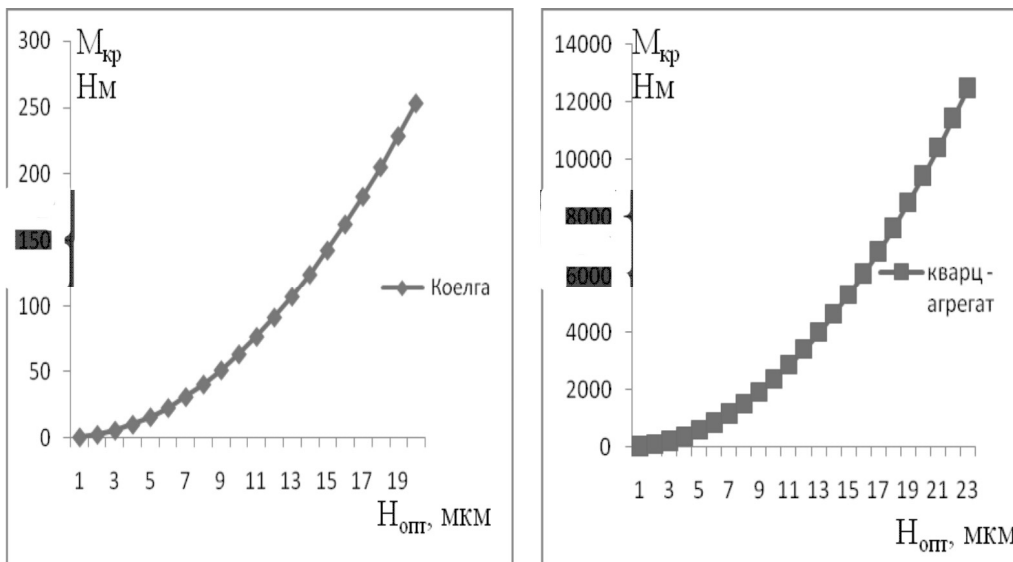


Рис. 5. Зависимость крутящего момента при выбуривании кернов природного камня диаметром 160 мм алмазными коронками от толщины слоя, разрушаемого единичным алмазным зерном: мрамор Коелга (зернистость инструмента 200/180 мкм, прочность алмазных зерен 715 МПа); кварц-агрегат (зернистость 400/315 мкм, прочность зерен 2000МПа)

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

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

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

$$N_k = \frac{6,49}{\tau_y D_n} \sqrt{\frac{k_{\phi} d_k^3 \mu E}{k_{пл} (1 - 2\mu) \sigma_p H_{омт}}}. \quad (16)$$

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

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

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. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Вержанский Александр Петрович – доктор технических наук, профессор,
Дубинин Петр Иванович – кандидат технических наук, доцент,
Девятьярова Виктория Викторовна - старший преподаватель,
Дубинин Сергей Петрович – аспирант.
 Московский государственный горный университет,
 Moscow State Mining University, Russia, ud@msmu.ru

