

УДК 66.232.

А.П. Вержанский, В.В Девятьярова, С. П. Дубинин, МГГУ

1. Определение технологических параметров сверления декоративного камня кольцевыми алмазными сверлами.

Для получения кернов декоративного камня наиболее эффективным способом является кольцевое алмазное сверление. Основными режимными параметрами при этом способе сверления являются:

$F_{ос}$ – осевая нагрузка на кольцевое алмазное сверло, Н;

N_k – частота вращения кольцевого алмазного сверла, c^{-1} ;

$M_{кр}$ – крутящий момент, приложенный к кольцевому алмазному сверлу и обеспечивающий его вращение с указанной частотой, Нм.

Для осуществления процесса кольцевого алмазного сверления с максимальной производительностью и минимальной энергоёмкостью необходимо обеспечить оптимальные условия взаимодействия алмазных зерен с декоративным камнем.

При кольцевом алмазном сверлении каждое алмазное зерно движется по своей винтовой линии (рис.1).

Параметры кольцевого алмазного сверления: D_c – диаметр скважины; D_n – наружный диаметр кольцевого алмазного сверла; $D_{вн}$ – внутренний диаметр кольцевого алмазного сверла; D_k – диаметр керна; v_n – скорость подачи инструмента; v_k – окружная скорость вращения кольцевого алмазного сверла; H – толщина слоя («стружки»), разрушаемого единичным алмазным зерном; θ – угол наклона винтовой линии к поверхности контакта рабочего слоя кольцевого алмазного сверла с камнем.

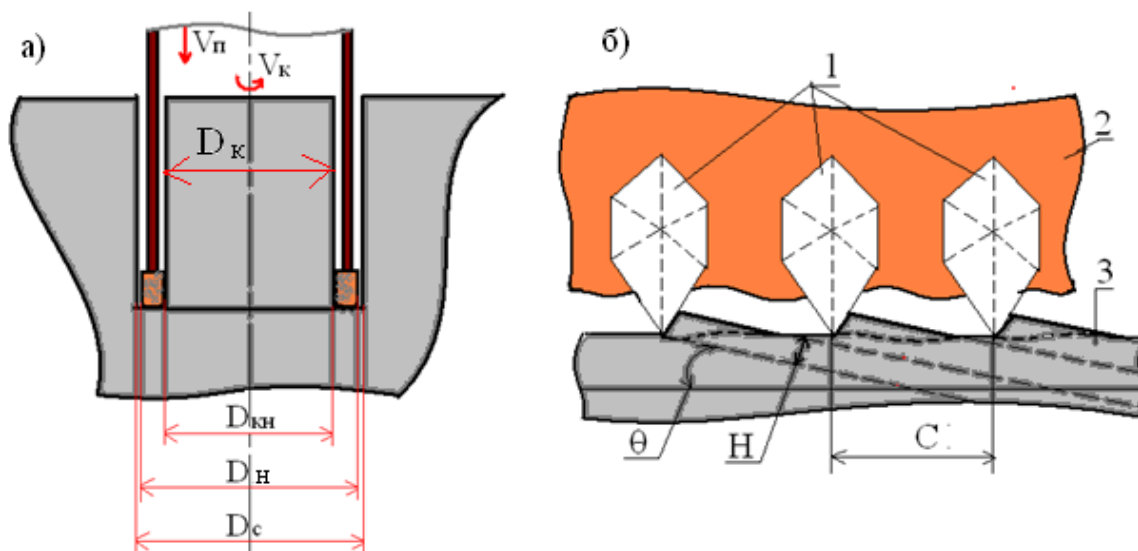


Рис. 1 - Схема движения алмазных зерен при кольцевом алмазном сверлении: а) – положение кольцевого алмазного сверла в камне (скважине); б) – развертка и схема движения алмазных зерен по винтовым линиям; 1 – алмазные зёрна; 2 –связка алмазного инструмента; 3 –декоративный камень.

За один оборот кольцевого алмазного сверла 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 кольцевого алмазного сверла, мм; v_n – скорость подачи инструмента на забой, м/с; v_k – окружная скорость вращения кольцевого алмазного сверла, м/с.

В зависимости от толщины «стружки» процесс разрушения камня может осуществляться в режиме скола или выкола (рис. 2). Энергоемкость разрушения декоративного камня в режиме скола на порядок меньше, чем в режиме выкола [1]. Максимальный объём разрушения с минимальной энергоёмкостью процесса достигается при оптимальной толщине слоя, разрушаемого единичным алмазным зерном в режиме скола [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.

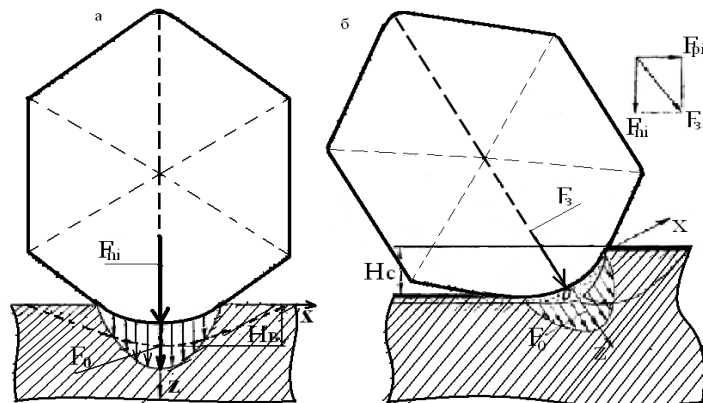


Рис. 2 - Схема разрушения декоративного камня единичным алмазным зерном: а – разрушение в режиме выкола; б – разрушение сколом.

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

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

Определим скорость подачи сверла на забой:

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

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

τ_u – время единичного цикла разрушения, с.

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

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

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

n_0 – количество алмазных зерен на рабочей поверхности кольцевого алмазного сверла.

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

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

Количество алмазных зерен на рабочей поверхности кольцевого алмазного сверла зависит от технологии изготовления инструмента, геометрических размеров алмазных зерен и алмазоносного слоя.

Для кольцевых алмазных свёрл, 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 кольцевого алмазного сверла с камнем, мм².

Площадь контакта определяется исходя из геометрических размеров кольцевого алмазного сверла (рисунок 3):

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

где: N_k – количество алмазоносных элементов кольцевого сверла, шт.;

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

S_i – площадь рабочей поверхности алмазоносного элемента, мм².

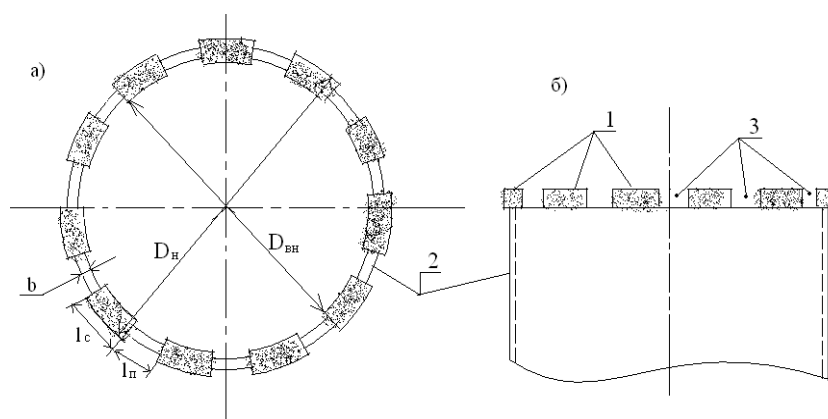


Рис. 3 –Кольцевое алмазное сверло с прерывистой рабочей поверхностью: 1 – алмазоносный сегмент; 2 – корпус сверла; 3 – зазор между сегментами; D_n – наружный диаметр сверла; $D_{вн}$ – внутренний диаметр сверла;

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

где: l_c – длина дуги алмазоносного сегмента по наружному диаметру кольцевого алмазного сверла, мм;

$l_{п}$ – величина зазора между алмазоносными сегментами, мм;

D_n – наружный диаметр сверла мм;

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

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

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

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

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

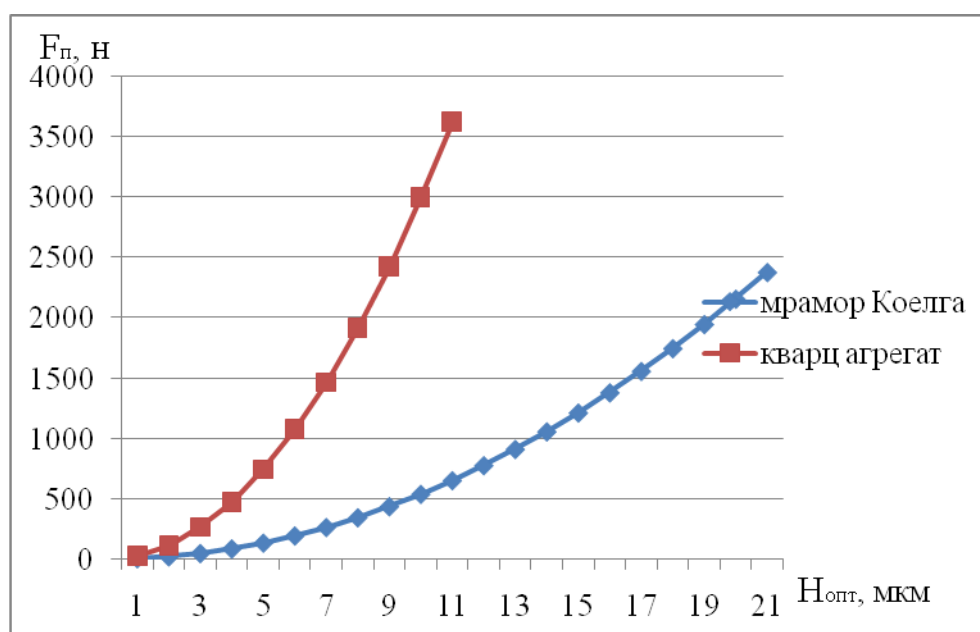


Рис. 4 – Зависимость осевой нагрузки при кольцевом алмазном сверлении камня (диаметр керна 160 мм) от толщины слоя, разрушаемого единичным алмазным зерном: мрамор Коелга (зернистость инструмента 200/180 мкм, прочность алмазных зерен при раздавливании 715 МПа); кварц-агрегат (зернистость 400/315 мкм, прочность зерен 2000МПа).

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

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

Сила разрушения декоративного 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 кольцевого алмазного сверла:

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

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

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

Крутящий момент, приложенный к сверлу и обеспечивающий её вращение с частотой N_k , определяется из выражения (рис. 5):

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

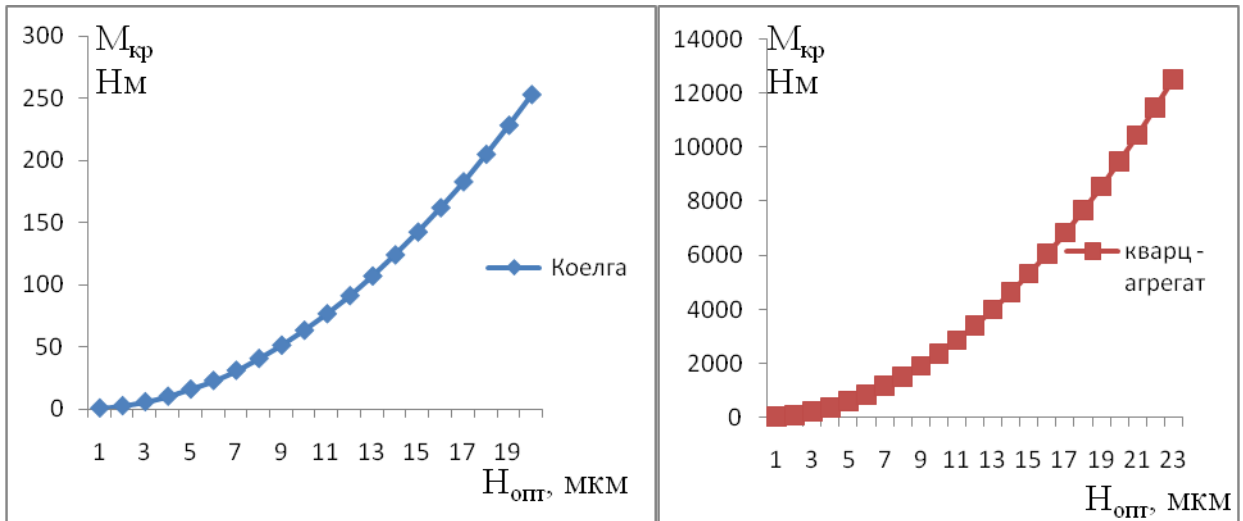


Рис. 5 – Зависимость крутящего момента при кольцевом алмазном сверлении декоративного камня (диаметр керна 160 мм) от толщины слоя, разрушаемого единичным алмазным зерном: мрамор Коелга (зернистость инструмента 200/180 мкм, прочность алмазных зерен 715 МПа); кварц-агрегат (зернистость 400/315 мкм, прочность зерен 2000МПа).

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.; МГГУ. 2002.- 134с.
5. **Протасов Ю.И.** Разрушение горных пород. – М.: МГГУ, 2002, 453 с.
6. **Морозов В.И., Дубинин С.П.** Определение режимов алмазного кернового бурения крепких горных пород. Сборник статей X111 Всероссийской конференции (с международным участием) «Технология художественной обработки материалов». – М.: МГГУ, 2010, С.291-296.