

МЕХАНИЗМЫ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД В ШАРОШЕЧНОМ БУРЕНИИ

С.В. СИНЕВ, канд.техн. наук

г. Москва, тел. 8-916-847-04-56; E-mail: stanislav-vs@mail.ru

Эффективность бурения сохраняется при катастрофическом износе вооружения шарошечного долота. Этот феномен не вписывается в существующие теории разрушения, которые отвергают возможность образования магистральной трещины параллельно плоскости полупространства. Предположительно она формируется при скоростной разгрузке горной породы, нагруженной в пределах упругих деформаций.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: износ, «лысое» долото, разрушение, трещина, микротрещина, вооружение, структура, механизмы, полупространство, деформации.

При бурении скважин любого назначения шарошечными долотами (рис. 1), разрушение горной породы производится внедрением их вооружения (зубьев) в массив. Под действием зуба незначительная часть разрушаемой породы раздавливается с нарушением ее структуры, а основной объем отделяется большими фрагментами по образуемым в процессе нагружения магистральным трещинам без нарушения структуры. Последнее принято называть объемным разрушением, а при наличии дополнительной обнаженной поверхности – сколом. Оба вида разрушения присущи двум методам разрушения: вдавливанию и сдвигу. Объемное разрушение может происходить как при однократном воздействии инструмента на горную породу, так и многократном – усталостном. Помимо перечисленных механизмов разрушения выявлены неизвестные, неизученные, один из которых: образование плоской трещины в массиве горной породы.



Рис. 1. Долото шарошечное

1. Объемное разрушение горных пород

Экспериментальными исследованиями Л.А.Шрейнера [1] с последующими уточнениями Р.М. Эйгелеса [2], при вдавлении вооружения установлены три стадии разрушения горной породы:

- упругая деформация;
- остаточная деформация;
- отделение части породы от массива.

Разрушение начинается в зоне контакта зуба при сравнительно малой нагрузке и имеет характер хрупкого отрыва в площадках, перпендикулярных к свободной поверхности полупространства. Образуется кольцевая трещина отрыва, охватывающая кольцевую площадку.

Для таких пород, как кварцит, доломиты, песчаники, некоторые известняки и другие, дальнейшее развитие трещины происходит вдоль траектории главных нормальных растягивающих напряжений в виде расходящегося кругового конуса. Коническая трещина разделяет верхнюю часть полупространства на усеченную полость и окружающую его консоль. Заключительная стадия – отделение консоли передачей на нее части давления зуба через материал конуса. Это так называемый первый механизм разрушения (рис. 2, а).

Консоль отделяется не обязательно кольцом в полном объеме. Отделение может быть сегментарным, поскольку явление дилатансии, заключающееся в увеличении объема горной породы при сжатии за счет появления микротрещин по данным [3] может носить реверсивный характер со сменой знака приращения как продольных, так и поперечных деформаций (рис. 3). Неровность поверхности забоя скважины может приводить к аналогичным последствиям. В сильно сжатом (дилатированном) состоянии породы деформируются с образованием периодических мезотрещинных структур с их восстановлением и «залечиванием» трещин после снятия нагрузки.

В целом ряде пород первый механизм разрушения, начав развиваться, затухает и процесс отделения породы от массива идет по второму механизму (рис. 2, б). Одна из причин затухания присутствие дифференциального давления.

В первом механизме разрушения в процессе формирования конической трещины под индентором часто образуется тонкий реструктурированный слой горной породы. В работе [4] толщина такого слоя составляет 0,12 мм (рис. 4), хотя в [5] особенностью остаточной деформации в ядре сжатия считается дилатансионное уплотнение раздробленной породы в верхней его части и дилатансионное разрыхление породы в нижней.

Во втором механизме (рис. 2, б) при малых нагрузках область необратимых деформаций локализуется вблизи контура площадки с развитием в глубь масси-

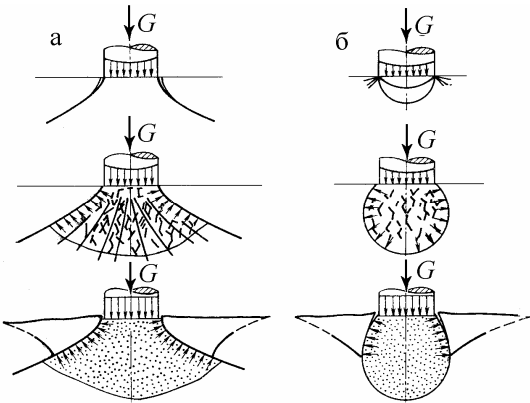


Рис. 2. Механизмы разрушения горных пород: а) первый; б) второй

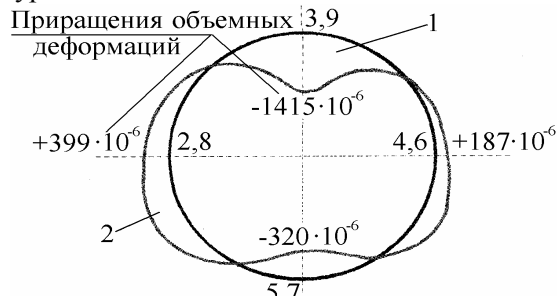


Рис. 3. Распределение приращения объемных деформаций (2) по периметру образца горной породы (1) при одноосном сжатии (аргиллит)



Рис. 4. Зона предразрушения в образце анизотропной породы: 1 – область разрушенной породы (до 0,12 мм); 2 – область пластических деформаций (до 0,42 мм). Увеличение в 57 раз. Микротрещина – на глубине 0,7–0,9 мм.

горная порода, которая в атмосферных условиях разрушается по первому механизму, в условиях глубокой скважины разрушается по второму. Дальнейшее увеличение всестороннего сжатия способствует уменьшению глубины ядра предразрушения с увеличением его диаметра. Для формирования ядра необходимо увеличение нагрузки на зуб, причем это увеличение различно для разных горных пород. Таким образом, с увеличением всестороннего давления объем предразрушенной области уменьшается, но характер этой стадии разрушения остается аналогичным второму механизму при атмосферных условиях. В заключительной стадии всестороннее сжатие ведет к качественному изменению характера разрушения. Дифференциальное давление значительно подавляет процесс вылома консоли, при этом зуб долота глубоко внедряется в породу, так что вокруг него и под ним развивается небольшая зона разрушенной породы и происходит отделение консоли. Это третий механизм, который требует значительной нагрузки разрушения, правда и размер выломанной консоли больше, поскольку трещина формируется на большей глубине (рис. 5).

2. Усталостное разрушение горных пород.

Под усталостной прочностью понимается сопротивляемость горных пород многократной повторяющейся нагрузке при напряжениях, меньших предела твердости. Усталостный вид разрушения характеризуется появлением постоянно развивающихся невидимых трещин, которые выходят на поверхность, и приводят к разрушению зоны контакта вдавливаемого элемента (зуба долота или индентора) с горной породой.

Восприимчивость горных пород к повторно-переменным нагрузкам, показывает во сколько раз можно снижать давление в точке соприкосновения зубьев долота и породы (по сравнению с твердостью) при проектировании осевой нагрузки на долото.

При изучении усталостного разрушения горных пород в условиях динамического вдавливания, по мнению [6], построение усталостных кривых необходимо хотя бы для установления отношения предела усталости к пределу прочности, характеризующего восприимчивость материала к повторно-переменным нагрузкам, которое показывает, во сколько раз можно снижать контактное да-

ва при увеличении нагрузки. Далее, как при первом механизме, полупространство разделяется на предразрушенное ядро и окружающую его упругую консоль, отделение которой от массива, в конкретных условиях, является определяющей для скорости бурения.

Внешнее воздействие на консоль при дифференциальном давлении осложняет ее выход, что приводит к увеличению нагрузок, необходимых для реализации механизма. Пластическое разрушение заменяет хрупкое, причем доминирующую роль начинают играть касательные напряжения вместо растягивающих, и

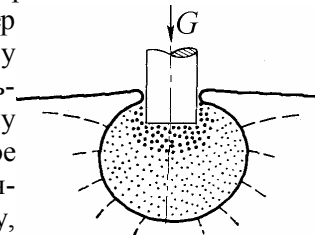


Рис. 5. Схема третьего механизма разрушения

ление (по сравнению с твердостью) в области взаимодействия вооружения долота и породы при проектировании осевой нагрузки. В силу того, что по [7, 8] в процессе бурения на забое скважины число циклов нагружения в одну и ту же точку бывает не более 15–20 раз, напряжение, соответствующее базе $N_B = 15 - 20$ ударов, является ограниченным пределом выносливости.

Л.И.Шрейнером и Н.Н.Павловой [9] первыми обращено внимание на то, что во многих породах контактное давление, передаваемое от зуба долота породе, меньше твердости, т.е. нарушается соотношение, рекомендуемое рядом исследователей для выбора осевой нагрузки

$$G \geq a F_k p_{ш}, \quad (1)$$

где G – осевая нагрузка на долото, кгс; $a = 0,3 - 1,59$ [10]; F_k – площадь контакта, $мм^2$; $p_{ш}$ – твердость по штампу, но долото успешно разбуривает породу, причем на дневную поверхность выносятся достаточно большие куски породы. По приведенному соотношению объемное разрушение на графике зависимости скорости бурения от нагрузки на долото $V(G)$ разделено по G (рис. 6). Нагрузка, выделяющая область I не что иное, как «стартовая» нагрузка начала продвижения забоя (начала бурения).

Если в интервале I и происходит разрушение горной породы в режиме поверхностного истирания [1, 11], то оно столь несущественно (скорость бурения близка 0), что им можно пренебречь. «Стартовые» параметры начала бурения В.С. Федоров [12] выводит на нулевое значение скорости проходки, т.е. построение графика начинается с нулевого значения скорости по ординате и некоторого значения нагрузки по абсциссе. Область III на рис.6 выделена как объемное разрушение. Область II в силу ряда причин, в том числе отсутствия отклонения зависимости $V(n)$ от прямой пропорциональности в экспериментальном бурении с частотами вращения долота до 1000 мин^{-1} , принята за усталостное объемное разрушение. Здесь уместно подметить, что термин «разрушение» в бурении весьма условен, поскольку более 90% породы отделяется в виде обломков, в то время как само разрушение, с нарушением межкристаллических связей и структуры, происходит по формирующимся трещинам и в областях раздавливания горных пород.

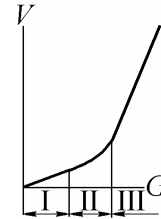


Рис. 6. Графики зависимости $V(G)$ разрушение: I – истиранием; II – объемное усталостное; III – объемное

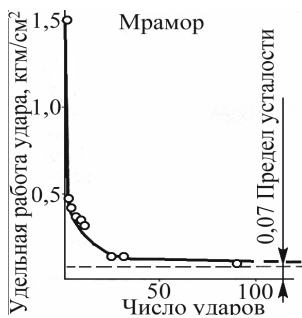


Рис. 7. Усталостная кривая

По результатам экспериментов со свободнопадающим грузом вооруженным бойками разного диаметра с высоты 18 мм и постоянной начальной скоростью удара 0,6 м/сек на переоборудованном склероскопе Шора авторами [9] построены усталостные кривые в координатах «удельная работа удара – число ударов» для мрамора (твердость $p_{ш} = 110 \text{ кг/мм}^2$, предел текучести $p_o = 80 \text{ кг/мм}^2$, коэффициент пластичности $k = 1,9$), золенгофенского известняка ($p_{ш} = 185 \text{ кг/мм}^2$, $p_o = 85 \text{ кг/мм}^2$, $k = 4,6$) и доломита ($p_{ш} = 246 \text{ кг/мм}^2$, $k = 1,0$). У разных пород отношение удельной работы удара, соответствующей пределу усталости, к удельной энергии удара, при которой разрушение происходит после первого удара, равно $1/21 - 1/29$.

Полученная при динамическом вдавливании усталостная кривая для образца уральского мрамора (рис.7), по мнению авторов [9], близка зеркальному отображению зависимости механической скорости бурения от нагрузки (рис. 6) при сравнении обоих графиков.

Вследствие проведенных исследований авторами [9] сделаны выводы, что горные породы с различными механическими свойствами (упруго-хрупкие и упруго-пластичные разной твердости и пластичности) поддаются усталостному разрушению, причем число циклов нагружения, необходимых для разрушения горных пород при напряжениях, близких к пределу усталости, в сотни тысяч раз меньше, чем у металлов. Исследованиями усталостного разрушения горных пород установлено соотношение предела усталости при вдавливании и твердости как $1/20 — 1/30$.

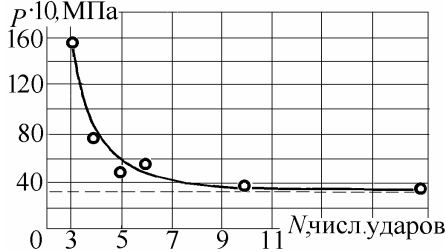


Рис. 8. Усталостная кривая для известняка пелитоморфной структуры ($p_{ш} = 158 \cdot 10$ МПа, $k = 2,4$)

После устранения ряда недостатков методики [9] Б.А.Жлобинский [6] получил усталостную кривую для горной породы (рис.8) в координатах $P(N)$, где величина контактного давления, отсекаемая на оси ординат, является пределом усталости при ударном вдавливании. Эта зависимость построена по аналогии с кривой А.Велера в координатах «разрушающее напряжение – число циклов нагружения».

Усталостные кривые для горных пород, в отличие от кривых А.Велера для металлов, ограничиваются 15 – 20-ю циклами, поскольку, как уже было сказано, в процессе бурения, на забое скважины большего числа циклов нагружения в одну и ту же точку не бывает.

Усталостная кривая по [6] представляет собой гиперболу вида:

$$p^2 N = k_{14CP}, \quad (2)$$

где p – динамическое контактное давление, МПа; N – число ударов. «База» испытаний $N_б = 15$ ударов. Физический смысл коэффициента k_{14} – квадрат динамического контактного давления при $N = 1$, т.е. квадрат динамической твердости.

Величина контактного давления, отсекаемая на оси ординат, проведенной параллельно оси абсцисс асимптотой, является пределом усталости при ударном вдавливании. В реальном бурении циклическое нагружение породы на забое скважины с $N = 1 – 3$ за один оборот долота производится сразу после его нагружения при любой частоте вращения, но усталостное разрушение в купе с одноактным начинается на «стартовой» нагрузке.

Принимая нагрузку начала бурения за нагрузку усталостного разрушения (граница областей I и II графика зависимости $V(G)$ на рис. 6), соотношение этой нагрузки и нагрузки начала объемного разрушения реальной скважины (долото 190,5 С-ГВ, УБТ146 – 200 м, глубина скважины 2000 м, частота вращения долота 50 мин^{-1}) соответствует $2/3$.

Пределы усталостно-объемного разрушения от удельной энергии, при которой разрушение наступает после первого удара в $1/11 – 1/15$ и отношение удельной работы удара (предел усталости) к удельной энергии удара, при которой разрушение наступает после первого удара в $1/21 – 1/29$ далеки от соотношений нагрузок реального бурения в $1/2$. Это не значит, что усталостное разрушение в реальном процессе бурения отсутствует. Напротив, оно наличествует во всем диапазоне применяемых нагрузок на долото, начиная со «стартовой» нагрузки, правда, в нетрадиционном понимании в отсутствии концентрации напряжений в области дефекта материала. Концентрация напряжений навязывается произвольной точке на поверхности полупространства горной породы через специфику конструкции долота без повтора нагружения именно в этой точке. Изготовитель размещает вооружение в конструкции долота таким образом, чтобы оно не поразило одну и ту же точку дважды. Помимо этого, в конструкцию долот всех

типов, кроме «К» и «ОК», закладывается дополнительное скольжение благодаря смещению осей шарошек и вылета вооружения за плоскость их чистого качения. Наконец, третьей причиной смещения удара в предыдущую точку является несоосность долота и скважины в оптимальных режимах бурения. Несосоосность, а, значит, и степень скольжения предопределена не только режимами, но и способами бурения.

Постоянство усталостного разрушения в бурении шарошечными долотами гарантировано тройным перекрытием периферии забоя вооружением трех шарошек. За один оборот долота точка поверхности периферии забоя может трижды подвергаться нагружению с минимальным смещением по этой поверхности прилагаемой нагрузки. Принимая последовательную схему формирования забоя: предварительное разрушение породы сдвигом (резанием) под основным вооружением и последующее объемное разрушение периферии забоя вдавливанием за счет концентрации нагрузки на долото на его периферии, в начале последнего акта возможно проявление усталостного разрушения горной породы. Крепкие и очень крепкие породы, из-за невозможности доведения необходимой для объемного разрушения нагрузки до долот «К» и «ОК», разрушаются многократным приложением меньшей ее величины с выраженным дискретным перемещением забоя после нескольких оборотов долота.

Таким образом, из практики исследования модели бурения в виде зависимости $V(G)$ следует исключить деление ее на области усталостно-объемного и объемного разрушения, а область I на рис. 6 удалить, как несуществующую.

3. Незученный механизм разрушения

Практика отечественного бурения в ходе широкого внедрения шарошечных долот в 30 – 50-ые годы прошлого столетия столкнулась с необычным явлением: полный износ фрезерованного вооружения долота при прохождении горных пород повышенной абразивности с еще работоспособной опорой. Долото получало название – «сахарная голова». Доведение долота до такого состояния возможно, если бурильщик в силу отсутствия падения скорости бурения не мог своевременно определить полного износа вооружения долота и достаточно эффективно продолжал бурение изношенным долотом.

Изучению этого явления посвящена отработка долот 214Т с пометровым замером скорости бурения на скважине № 231 Бузулукского УБР ПО Оренбургнефть (1972 год) роторным способом на входе в тульский горизонт, в так называемую тульскую плиту (рис. 9). Три долота подняты с удовлетворительным состоянием опоры. Незначительное падение скорости бурения до глубины 2605 м с дальнейшей ее стабилизацией, показанное сплошной линией, отражает вхождение в разбуриваемый пласт. Но если вооружение первых двух долот (долбление I и II на рис. 9) было изношено на 50%, то износ вооружения третьего долота (долбление III на рис. 9) составил 100% (полное отсутствие).

Скорость же бурения в третьем долблении мало отличается от предыдущих двух. Более того, сохранена общеизвестная тенденция изменения ее внутри каждого долбления. Если учесть, что в твердых абразивных породах — граните и кварците ($p_{ш} \gg 300 \text{ кгс/мм}^2$), по данным [13], механическая скорость про-

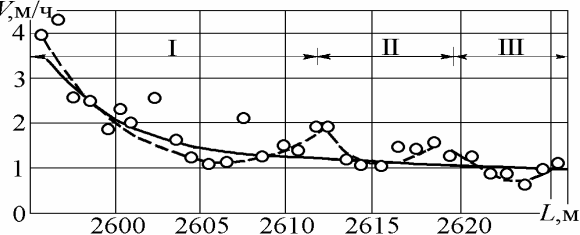


Рис. 9. Изменение V при бурении скв.231 долотами 214 Т (I, II, III — долбление)

ходки интенсивно снижается в течение первых 10 минут и, наряду с абразивным износом, в этом случае, происходит механическое разрушение зубьев долота, можно утверждать, что последние метры III-го долбления пройдены в отсутствии вооружения.

Для подтверждения возможности разбуривания пород долотами без вооружения на скв. 237 той же площади, при аналогичном хронометраже, отдельные долбления искусственно затягивались во времени. Долото типа «СЗГ» в интервале бурения 2390 – 2400 м было поднято с полностью отработанным вооружением, причем наблюдался рост механической скорости до последнего сантиметра долбления, с 1,5 м/ч в начале бурения до 2,5 м/ч в конце, что, впрочем, вряд ли можно связать с потерей вооружения. Постоянство скорости на уровне 2,0 м/ч установлено в интервале 2695 – 2700 м при полностью изношенном вооружении («лысые шарошки») долота «СГ». В пределах 1,0 – 2,0 м/ч удерживалась скорость у долота «ТКЗ» в интервале 2757 – 2770 м. Долото поднято без вооружения с потерей в диаметре 14 мм. Аналогия характера изменения $V(L)$ в рассмотренных долблениях отмечалась в [14, 15, 16]. В ходе долблений визуально анализировался вид и размер фрагментов выбуренной породы (шлама). Видимых различий в начале и конце долблений не отмечено. Размер шлама в восточных районах страны по данным В.С.Федорова ограничивается 8-ю мм (85 – 90% по весу) и 8 – 10 мм (10 – 12%).

В рассматриваемом контексте следует заметить, что в практике алмазного бурения в шламоуловитель с забоя иногда попадают фрагменты породы размером со спичечную коробку. Это притом, что, по данным [17], размер шлама во много раз меньше величины внедрения алмазного долота в породу за один оборот и колеблется от 0,05 до 0,4 мм.

Какого-либо объяснения представленным феноменам в теории разрушения горных пород и материалов вообще не существует. Неизученный износ поверхностей металлических изделий питтингом, в котором присутствует температурная составляющая, отображаемая цветом побежалости, неприемлим в силу колоссальной разницы количества нагружений. Привлекательным здесь является процесс разрушения в металлургии, где при изготовлении цельнокатаных труб внутри цилиндрической заготовки происходит разрыв материала. В работах [18, 19, 20] рассмотрен вопрос разрыва сердцевины заготовки в трубном производстве. Отмечается, что в настоящее время нет единой точки зрения на физику процесса вскрытия внутренней полости. По-разному трактуются эпюры осевых, радиальных и тангенциальных (раскручивающих, направленных по касательной) напряжений. Основу одной теории составляет твердое (хрупкое) разрушение внутреннего слоя давлением внешних слоев, согласно другой теории основа физики процесса в пластической деформации.

Упрощенно, внутренняя полость образуется в силу возникновения растягивающих напряжений, действующих в направлениях перпендикулярных сжимающим усилиям валков. Внешние слои удлиняются под обжимающим действием валков и «утягивают» за собой центральный слой. Вращение заготовки обуславливает перемену знака напряжения в сердцевине металла, что и приводит к разрушению сердцевины. Здесь значение валков преувеличено, поскольку первые пушечные стволы в позапрошлом веке изготавливали паровым молотом. По одной из теорий, разрушение происходит при достижении нормальными растягивающими усилиями предела хрупкой прочности, согласно другой теории, сердцевина разрушается тогда, когда в осевой зоне разность растягивающих напряжений превышает предел текучести. Этот, все еще неизученный процесс, не вписывается в аналогию процесса разрушения горных пород, поскольку нагру-

жение здесь производится, как минимум, с двух сторон. Но даже при двустороннем нагружении, рассматривая все известные гипотезы, формирования реверсивных деформационных аномалий в образцах горных пород при сжатии, гипотезы, привлекаемые для объяснения эффекта реверса деформаций в предразрушающей области нагружения: гипотезы остаточных напряжений; гипотезы упругого восстановления материала около трещин отрыва, развивающихся в породе при сжатии; гипотезы распирающего действия сдвиговых микродефектов; гипотезы очага макроразрушения, моделируемого мягким включением; гипотезы очага макроразрушения, моделируемого мягким дилатирующим включением, которые основываются на классических представлениях механики о деформировании и разрушении материалов, автор [3] делает вывод о физической невозможности появления горизонтальной трещины, поскольку при сжатии такие трещины, как известно, закрываются. Поэтому для описания подобных эффектов возникает необходимость привлечения новых представлений физической механики. Поиск аналогов рассматриваемым процессам теоретического плана проводился одновременно с экспериментальными исследованиями, которые могли бы пролить свет на выдвигаемые гипотезы, а также развеять сомнения о возможной потере вооружения в промысловых условиях только в конце долбления, например, из-за подклинивания опор шарошечного долота.

С учетом того, что при изучении эффективности разрушения горных пород статическим вдавливанием венцов разного диаметра с различными закруглениями и притуплениями режущей кромки [21], наилучшие энергетические показатели получены для венцов диаметром 100 мм шириной 10 мм, были изготовлены экспериментальные долота $\varnothing 97$ мм с шарошками вооруженными нефрезерованными венцами шириной, соответствующей ширине венцов серийных долот типа «М», а также долота абсолютно «лысые» (рис. 10)

При разбуривании мрамора месторождения «Коэлга» на стенде ЗиФ-1200 экспериментальные долота показали результаты аналогичные промысловым. При дискретном перемещении забоя на повышенной нагрузке долотами с нефрезерованными венцами (рис. 10, в) и долотами с «лысыми» шарошками (рис. 10, г) достигались результаты серийных долот типа «М» (рис. 10, а) с выработкой шлама одинакового размера.

Из приведенного на рис. 11 графика зависимости $V(G)$ следует, что долота с нефрезерованным вооружением (рис. 10, в) имеют близкие характеристики по скорости бурения в сравнении с серийными долотами типа «М» (рис. 12, а), причем интенсивность роста скорости у экспериментальных повышается с увеличением нагрузки. Крутящий момент у экспериментальных, график зависимости $M(G)$ на рис. 11, по интенсивности роста полностью повторяет серийные с существенным различием по величине. Это различие, при нагружении до равенства моментов, позволяет получить прирост механической скорости на 9 – 25%, что вполне реализуемо в турбинном способе бурения.

Упомянутое в [7] облегчение разрушения за счет слоистости пород, исключено, поскольку экспериментальное бурение проводилось на блоках однородного (неслоистого) мрамора «Коэлга».

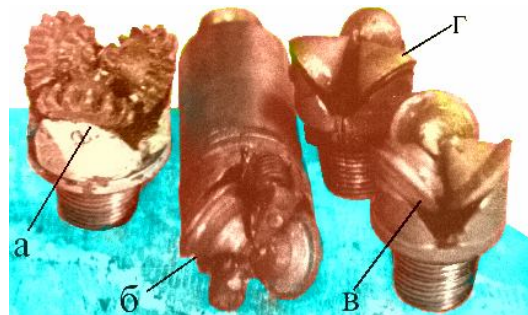


Рис. 10. Долота $\varnothing 97$ мм: а – тип «М»; б – с нефрезерованными венцами и резами; в – с нефрезерованными венцами; г – с «лысыми» шарошками.

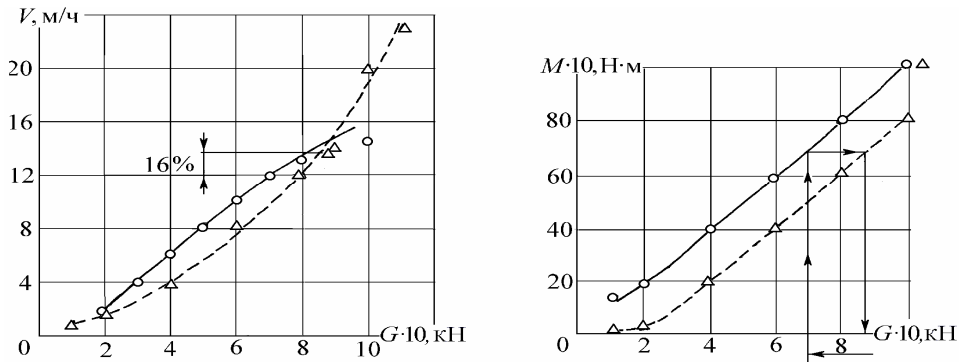


Рис. 11. Зависимость $V(G)$ и $M(G)$ при бурении мрамора долотами $\varnothing 97$ мм:
 ———— - серийное типа «М»; - - - - - - нефрезерованные венцы типа «М»

Пояснить такой вид разрушения могут экспериментальные и теоретические посылы Л.А.Шрейнера [1], которые в исследованиях напряженного состояния при вдавливании штампа показали, что, по мере удаления от поверхности контакта на величину $z > 0$, все главные нормальные напряжения убывают, причем σ_z убывает медленнее, чем $\sigma_r = \sigma_\theta$, из-за чего касательные напряжения увеличиваются до максимума на некоторой критической глубине $z_{кр}$

$$z_{кр} = a \sqrt{\frac{2(1 + \mu)}{7 - 2\mu}}, \quad (3)$$

где a – радиус индентора, мм; μ – коэффициент Пуассона.

Поскольку материал находится в условиях всестороннего сжатия, то предельное напряженное состояние возникает на глубине $z_{кр}$. Такое явление наблюдается при вдавливании штампа в кристаллы кальцита (исландский шпат) с соответствующим освещением. В глубине кристалла при $2/3$ от разрушающей нагрузки появляется темное пятно в виде точки. С увеличением нагрузки пятно растет, и вырисовываются четкие интерференционные полосы. Это поверхность скалывания (скольжения), которая зарождается в глубине кристалла. Аналогичные результаты получены в лаборатории Р.М.Эйгелеса на оптически активных материалах в ходе изучения напряженного состояния от воздействия индентора.

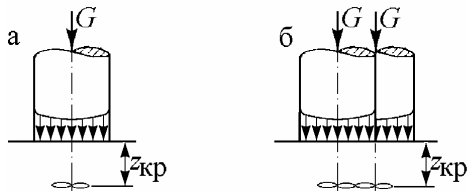


Рис. 12

Схема образования необратимых деформаций (а) и срачивания их при перемещении индентора на min расстояние (б)

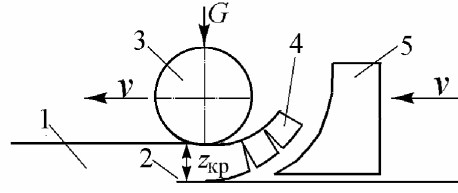


Рис. 13

Схема образования магистральной трещины: 1 – массив породы; 2 – трещина; 3 – каток; 4 – шлам; 5 – «направление»

При пластических деформациях горных пород возникающие нарушения внутри отдельных зерен и между зернами приводят к разупрочнению пород. Возникающие в процессе пластических деформаций нарушения, как в отдельных кристаллах, так и между ними, необратимы (в отличие от металлов). Исходя из этого, правомерным будет предположение, что при вдавливании индентора в массив породы с нагрузкой G , на глубине $z_{кр}$ при возникновении необратимых деформаций может образоваться микротрещина (рис.12, а). Микротрещина, в свою очередь, может перерасти в магистральную трещину, если индентор пере-

мещать по поверхности на минимальное расстояние с той же нагрузкой (рис. 12, б). При движении по поверхности массива породы катка (рис.13) с нагрузкой G на глубине $z_{кр}$ следует ожидать образования магистральной трещины, распространяемой параллельно плоскости полупространства. По аналогии с раскаткой цельнокатаных металлических труб для регулирования направления магистральной трещины предполагается использовать «направление» – 5 на рис. 13. Попытка контролировать магистральную трещину и регулировать ее направление резцом, идущим вслед за шарошкой в реальном долоте (смотри рис.10(б)) не удалась, и показатели такого долота не отличаются от обычного. Не отличаются они и от трехшарошечного с нефрезерованными венцами. На рис. 14 представлены характеристики такого долота, выраженные зависимостями $V(n)$ и $M(n)$ при различных нагрузках на долото, а также $V(G)$ при частоте вращения долота $n = 120 \text{ мин}^{-1}$. Уровень выходных параметров зависимостей сравниваемых долот примерно одинаков. Одинаков он, иногда, и для серийного вооружения долота типа «М» (см. параметры $V(G)$ для долота «М» на рис.14).

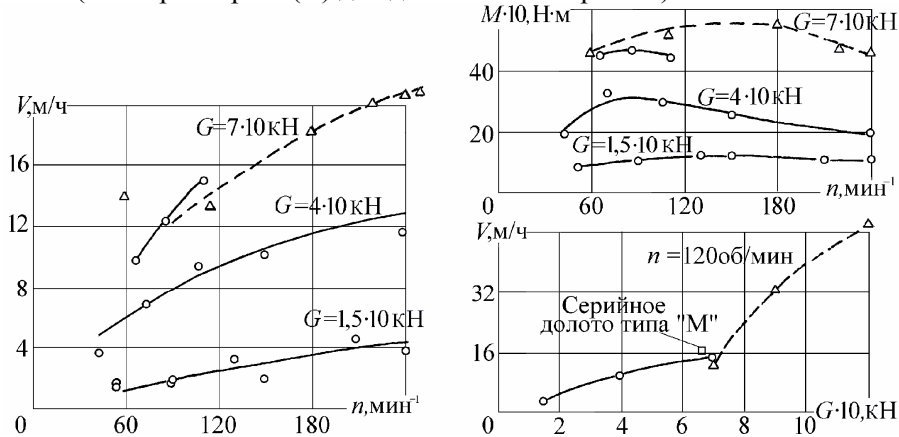


Рис. 14. Зависимость $V(n)$ и $M(n)$ при различных нагрузках на долото $\varnothing 97 \text{ мм}$ и $V(G)$ при $n = 120 \text{ мин}^{-1}$ для долот с не фрезерованным вооружением: --- трехшарошечное; — двухшарошечное с подпружиненными резцами, идущими вслед за вооружением

Дополнительно проведены эксперименты с изменением динамики нагружения долота. «Лысые» микродолота $\varnothing 33 \text{ мм}$ разгонялись до частоты 2500 мин^{-1} с приложением «статической» нагрузки (обычное нагружение) и ударной (сбрасывание груза в 50 Н с высоты в 1 м). Результат идентичен работе долот $\varnothing 97 \text{ мм}$: эффективное бурение с отсутствием плоской трещины на профильном разрезе разбуриваемого образца.

Итогом рассмотренного материала может быть следующее.

Возможно, визуальное отсутствие плоской трещины в профильном разрезе образцов обусловлено выходом ее на поверхность в процессе ее формирования со скоростью соизмеримой со скоростью упругой волны, как это характерно для распространения магистральных трещин. В этом случае от фрагментов породы, отделенных от массива благодаря формированию плоской трещины, освобождались, как от обычного шлама и трещина не могла попасть в визуальный анализ.

Неправильно выбранная идеология исследований: «Хорошая трещина проявится визуально, а подробно изучать ее можно позже». Возможно, визуальному анализу следовало подвергать не просто срезы образцов, но и шлифованную поверхность и даже аншлиф в поляризованном свете, поскольку трещины легко «залечиваются». К такому заключению имеются весомые основания.

Заявленный механизм разрушения (рис.13) в теоретическом и практическом плане имеет огромные перспективы и, в частности, для бурения скважин.

Л и т е р а т у р а

1. Шрейнер Л.А. и др. Механические и абразивные свойства горных пород. М., Гостоптехиздат, 1958, 202 с.
2. Эйгелес Р.М., Стрекалова Р.В. Расчет и оптимизация процессов бурения скважин. М., Недра, 1977, 200 с.
3. Опанасюк А.А. Исследование закономерностей деформирования горных пород в предразрушающей области нагружения. Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. Владивосток, 2006.
4. Пушмин П.С. Обоснование модели алмазной коронки на основе исследования механики разрушения твердых анизотропных пород. Автореферат диссертации на соискание ученой степени к. т. н. Томск – 2006.
5. Евсеев В.Д. Повышение эффективности бурения нефтяных и газовых скважин. Сб. Проблемы геологии и освоения недр. Секция 9. Бурение нефтяных и газовых скважин. Томский политехнический университет, 2007. С.442—443.
6. Жлобинский Б.А. Динамическое разрушение горных пород при вдавливании. М., Недра, 1970, 152 с.
7. Симонянц Л.Е. Разрушение горных пород и рациональная характеристика для бурения. М., Недра, 1966, 228 с.
8. Жлобинский Б.А. О физической картине усталостно-объемного разрушения некоторых горных пород и уточнения понятия предела усталости. Труды ГНИ, Сб. №25, т. 2, Грозный, 1961.
9. Шрейнер Л.А., Павлова Н.Н. Экспериментальные данные по усталостному разрушению горных пород. Сб. трудов ИН АН СССР, №11, 1958.
10. Алексеев Ю.Ф. Использование данных по механическим и абразивным свойствам горных пород при бурении скважин. М., Недра, 1968. 174с.
11. Шрейнер Л.А. и др. Деформационные свойства горных пород при высоких давлениях и температурах. М., Недра, 1968. 360с.
12. Федоров В.С. Научные основы режимов бурения. М., Гостоптехиздат, 1951, 248с.
13. Потапов Ю.С., Симонов В.В. Разрушение горных пород трехшарошечными долотами малого диаметра. М., Гостоптехиздат, 1961, 87с.
14. Минин А.А., Погарский А.А. Форсирование механической скорости беструбного электробура. НХ, 1956, № 3, С. 14 — 20.
15. Остроушко И.А. Забойные процессы и инструменты при бурении горных пород. М., Госгортехиздат, 1962, 272 с.
16. Яковлев В.А. Рациональная обработка долот уменьшенного и малого диаметра. М., Недра, 1970, 129 с.
17. Сукманов Г.И., Геворков Г.С. Исследование фракционного состава бурового шлама при бурении алмазными долотами в стендовых условиях. – В кн.: Основы проектирования глубоких скважин. М., Миннефтепром, 1973 (Труды ВНИИБТ, вып. XXXI), С. 54 – 62.
18. Виноградов А.Г. «Трубное производство», М, «Металлургия», 1981.
19. Грудев А.П. «Теория прокатки», М «Интермет-инженеринг», 2001.
20. Тетерин П.К. «Технологический процесс в трубном производстве», М., «Металлургия», 1965.
21. Потапов Ю.Ф., Шевалдин П.Е. О возможности создания вооружения шарошечных долот в виде сплошных венцов. М., «Недра», 1966 («Труды ТатНИИ», вып.9), С.150 – 159.

MECHANISMS OF DESTRUCTION OF ROCKS UNDER DRILLING

S.V. Sinev

Efficiency of drilling remains at catastrophic deterioration of arms roller bits. This phenomenon is not entered in existing theories of destruction which reject possibility of formation of the main crack in parallel a semispace plane. Presumably it is formed at high-speed unloading of the rock loaded within elastic deformations

KEYWORDS: deterioration, "a bald" bit, destruction, a crack, a microcrack, arms, structure, mechanisms, semispace, deformations.