Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института
им. Г.В.Плеханова, 1984, т. 99

УДК 622.02 : 531.0015

ТЕРМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РАЗРУШЕНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Л.С.ДЕРБЕНЕВ

При открытом способе разработки месторождений, представленных крепкими скальными породами, наибольшие затраты труда и средств (80-90 %) приходятся на процессы разрушения массива и измельчения горной массы. Практически на всех карьерах, разрабатывающих скальные породы, рыхление массива осуществляется буровзрывным способом. Однако применяемые в настоящее время механические способы бурения и дробления эффективны только в породах средней и слабой крепости. С повышением крепости пород свыше I4-I6 по шкале М.М.Протодьяконова производительность механических станков резко падает, а стоимость работ возрастает в основном из-за уменьшения производительности и быстрого износа рабочего инструмента. Например, при бурении скважин в породах крепостью f = I8 стойкость шарошечных долот составляет всего 45-50 м скважин, в то время как в породах крепостью f = I4 - I20-I50 м. Аналогичное положение имеет место и при подземной разработке крепких горных пород. Процесс разрушения крепких горных пород как на открытых, так и на подземных разработках является определяющим и сдерживает развитие и интенсификацию ведения горных работ и, следовательно, требует коренного совершенствования.

Изученность механического и взрывного разрушения горных пород, а также перспективы создания новых материалов для механических породоразрушающих органов, используемых в горных машинах и обеспечивающих увеличение прочности и стойкости, позволяют сделать вывод о возможности повышения производительности и стойкости инструментов не более, чем на 50 %. Увеличение мощности машин (буровых станков, экскаваторов, проходческих комбайнов) приводит к росту энергоемкости процессов разрушения объема перерабатываемых вскрышных пород, к разубоживанию (снижению качества) полезного ископаемого, к его потерям.

Современное состояние и перспективы развития горных работ характеризуются непрерывным ростом объемов добываемых и перерабатываемых крепких горных пород и увеличением их крепости с углублением горных пород.

В связи с высокой энергоемкостью и недостаточно высокой производительностью последующих процессов измельчения непрерывно возрастающих объемов добываемой горной массы с целью более полного извлечения полезных компонентов при обогащении (до 50 кВт·ч на I т) возникает необходимость разупрочнять межзерновые связи в породах в процессе ведения буровзрывных работ. Для этого необходимо образование сложных профилей буримых взрыв-

ных скважин, обеспечивающих рациональное размещение взрывчатых веществ в разрыхляемом породном массиве при минимальных затратах на их образование.

Для решения указанной проблемы изыскиваются и разрабатываются новые высокопроизводительные физические способы разрушения крепких горных пород, обеспечивающие создание легких, маневренных, малогабаритных высокопроизводительных горных машин высокой мощности. К таким способам в настоящее время относятся методы разрушения крепких горных пород с применением теплового воздействия.

Из немеханических способов разрушения имеет практическое применение огневой способ, основанный на нагреве горных пород высокотемпературной струей (I500 ^{0}C), образованной в результате сгорания горючего. Существенным недостатком огневого способа бурения является избирательность, зависящая от свойств и состояния обуриваемого массива, площади облучаемой поверхности и интенсивности теплового воздействия. Однако в термобуримых крепких горных породах огневой способ разрушения экономически справдан, а его применение при расширении заряжаемой части скважин практически всегда обеспечивает положительный экономический эффект.

Характерной особенностью термического способа является высокая эффективность разрушения именно крепких горных пород, обладающих определенным комплексом физических свойств. При этом механизм разрушения заключается в отделении от монолита поверхностных слоев породы, что происходит под действием интенсивных сжимающих напряжений, действующих в направлении, параллельном свободной поверхности. Однако этот механизм разрушения реализуется не во всех горных породах, что является существенным недостатком термического способа разрушения.

Известно [2], что развивающиеся термоупругие напряжения в нагреваемом поверхностном слое породы достигают критических значений, при которых происходит хрупкое разрушение,

$$\sigma_{кр} = A\left(\frac{\Delta}{r}\right)^2, \qquad (I)$$

где A – постоянная величина, зависящая от физических свойств породы; r – радиус облучаемой площади; Δ – толщина прогретого слоя.

Расширение области эффективного применения термических способов разрушения и уменьшение его избирательности определяется возможностью увеличения площади облучаемой поверхности и повышением интенсивности теплового нагружения, т.е. уменьшением глубины прогрева породы Δ до момента хрупкого разрушения. Поэтому термические способы разрушения горных пород получили широкое распространение как в отечественной, так и в зарубежной практике в процессах поверхностной обработки камня и при расширении заряжаемой ВВ части скважин, пробуренных механическим способом.

Одним из путей повышения эффективности термического способа разрушения является добавление в струю газа твердых частиц мелкой фракции, например песка. Воздействие двухфазного потока (газ – твердые частицы) интенсифицирует процесс нагрева разрушаемой горной породы за счет турбули-

120727

зации твердыми частицами ламинарного пограничного слоя между теплоносителем и породой [3].

Следует отметить, что в буровых инструментах с использованием мелкодисперсной фракции, несмотря на разгон твердых частиц до скоростей 100–200 м/с, энергия удара недостаточна для существенного изменения напряженного состояния пород и поэтому их разрушение протекает в режиме термического шелушения под воздействием теплоносителя с повышенным коэффициентом теплоотдачи, что характеризуется высокой избирательностью процесса разрушения. Расширение области применения огневого способа бурения осуществляется также за счет комбинированного воздействия на горные породы. В последние годы в нашей стране и за рубежом интенсивно ведутся работы по созданию технических средств комбинированного разрушения крепких горных пород. Возможность применения термомеханических способов разрушения практически для всех горных пород, а также высокая эффективность процесса позволяют оценить их как наиболее перспективные методы.

Однако, несмотря на большой объем многолетних исследовательских и опытно-конструкторских работ, до последнего времени не получил промышленного применения ни один из термомеханических породоразрушающих инструментов. Поэтому для дальнейшего совершенствования и развития комбинированных методов бурения крепких горных пород необходимо изучить физическую сущность процесса, выбрать рациональные параметры воздействия и создать работоспособные термомеханические породоразрушающие органы.

Перспективным является интенсификация термического способа разрушения за счет создания в породе дополнительных механических напряжений, достаточных для разрушения породы крупным сколом в режиме отделения поверхностных слоев от монолита. Это может быть реализовано при ударах стальными шарами по нагретой поверхности породы с энергией до 30 Дж. Термошароструйное устройство состоит из огнеструйной горелки и эжекционной насадки, имеющей камеру разгона. В устройстве предусмотрены тракты водяного охлаждения инструмента с выходом в затрубное пространство. На забой скважины засыпают порцию стальных шаров.

Принцип работы термошароструйного инструмента аналогичен работе шароструйного аппарата [4]. При непрерывной циркуляции шаров происходит их нагрев на участке разгона и забое скважины, а затем охлаждение в пароводяной завесе в затрубном пространстве. Длительность нахождения шаров в затрубном пространстве более чем на порядок превышает длительность их нахождения на разгонном участке при воздействии высокотемпературной сверхзвуковой газовой струи и поэтому перегрева шаров не происходит.

Важнейшим конструктивным параметром термошароструйного бурового инструмента является длина камеры разгона, определяющая энергию ударяющего тела. Кинетическая энергия шара и его скорость на выходе из начального участка камеры разгона ($V_т/V_р \ll 1$, здесь $V_р$ – скорость рабочего газа) при эжекционном принципе формулирования рабочего агента определяются зависимостями:

$$E_к = \frac{\pi d_т^2}{8} c \rho_с Z \left(\frac{V_р}{1+n}\right)^2; \qquad V_т = \sqrt{\frac{3 \rho_с Z}{2 \rho_т d_т} c} \frac{V_р}{1+n}, \tag{2}$$

где $E_к$ – кинетическая энергия шара; $d_т$ – диаметр шара; c – коэффициент аэродинамического сопротивления; $\rho_с$ – плотность смешанного газа в камере разгона,

$$\rho_с = \frac{n}{n+1} \rho_н + \frac{1}{n+1} \rho_р;$$

n – коэффициент эжекции по газу; $\rho_н$ – плотность отраженного от забоя газа в затрубном пространстве около эжекционных окон; $\rho_р$ – плотность рабочего газа в камере сгорания горелки; Z – длина камеры разгона; $\rho_т$ – плотность материала шара.

Исследование зависимостей (2) позволяет выявить важные для практики закономерности формирования рабочего агента.

С увеличением давления рабочего газа кинетическая энергия твердых частиц возрастает по закону, близкому к линейному. Однако применяемые на буровых станках компрессоры обеспечивают давление воздуха до $98 \cdot 10^4$ Н·м^2.

Установлено, что с повышением коэффициента эжекции по газу, зависящего от соотношения диаметров камеры разгона и рабочего сопла, кинетическая энергия шаров на выходе из камеры разгона понижается. Поэтому коэффициент эжекции по газу в инструментах принят не превышающим 0,25. С увеличением диаметра шаров и длины участка разгона возрастает кинетическая энергия шаров; при длине участка разгона 0,5 м шары диаметром 15–20 мм приобретают кинетическую энергию, превышающую 10 Дж, достаточную для существенного изменения напряженного состояния породы и ее эффективного разрушения при нагреве.

Максимально возможная частота ударов, реализуемая в инструменте, определяется из выражения

$$\omega = \frac{\pi}{4} V_н \frac{d_к^2 - d_с^2}{d_ш^3},$$

где $V_н$ – скорость входа шара в камеру разгона; $d_к$, $d_с$, $d_ш$ – диаметры камеры разгона, рабочего сопла и шара, соответственно.

В термошароструйном аппарате при диаметре шаров 18 мм теоретическая величина максимальной частоты ударов составляет 206 с$^{-1}$ (при $V_н$ = = 0,8 м/с), а при диаметре $d_ш$ = 15 мм частота составит 356 с$^{-1}$.

Скорость рабочего газа, генерируемого огнеструйной горелкой термошароструйного инструмента находится в пределах 800–1000 м/с, а динамическая мощность струи $(G_г V_р^2)/2$ (здесь $G_г$ – массовый расход рабочего газа, кг/с) составляет 130–200 кВт. При частоте ударов 200 с$^{-1}$ ($E_к$ = 30 Дж) на разрушение породы в забое скважины расходуется 6 кВт, что составляет

не более 5 % от динамической мощности рабочей струи. Следовательно, энергетические возможности разработанного термошароструйного инструмента весьма высоки, а интенсивность ударного нагружения забоя скважины может быть увеличена.

В экспериментальных исследованиях на стенде выявлены закономерности формирования такого типа рабочего агента [I]. Максимальная частота пролета шаров через камеру разгона термошароструйного инструмента достигается при его расположении над забоем на расстоянии 50-I00 мм. В экспериментах достигнута стабильная частота ударов 70 $с^{-I}$, однако зафиксированы моменты, соответствующие пролету шаров через камеру разгона с частотой I00 $с^{-I}$ и более. При этом в скважине находилась порция шаров массой I0 кг (420 шаров диаметром I8 мм). Средний период одного цикла шара составил 6 с. В процессе циркуляции в зоне высокой температуры шар находится не более 0,2 с, а остальное время - в затрубном пространстве перед попаданием в камеру разгона. Теоретическое время, необходимое для подъема шара от забоя до уровня эжекционных окон, не превышает 0,5 с, следовательно, перед попаданием в камеру разгона шары находятся в затрубном пространстве в хаотическом движении над эжекционными окнами.

Сформированный в термошароструйном буровом инструменте рабочий агент - высокотемпературный газовый поток со стальными шарами - обеспечивает разрушение бетона, являющегося типично нетермобуримой средой, хрупко неразрушаемой высокотемпературным газовым потоком. Таким образом, термошароструйный способ бурения устраняет основной недостаток термического способа - его избирательность, и может эффективно разрушать любые твердые горные породы и искусственные минеральные среды.

Термошароструйный способ бурения испытан в производственных условиях при бурении скважин на карьере в крепких горных породах - железистых кварцитах Михайловского ГОКа. В результате испытаний в I982 г. пробурено около I20 м скважин различными конструкциями инструментов, подлежащих дальнейшему совершенствованию и отличающихся друг от друга компановкой составляющих элементов и калибром. Испытаны инструменты с диаметрами корпуса эжекционной насадки 200, I80, I50 мм. Скорость проходки скважины изменялась в пределах до I5 м/ч в породах крепостью f = I7-I9 по шкале М.М.Протодьяконова.

В продуктах разрушения горных пород при термошароструйном бурении практически отсутствует мелкий буровой шлам размером менее I мм. Процесс термомеханического разрушения крепких горных пород происходит без их переизмельчения ударными нагрузками - в наиболее рациональном режиме с минимальными затратами механической и тепловой энергии [I].

Положительный эффект от использования термошароструйного способа бурения обусловлен преимущественно применением дешевого механического породоразрушающего органа. Отсутствие непосредственного контакта породоразрушающего органа с забоем скважины позволяет рассчитывать на высокую долговечность инструмента.

Анализ эффективности от применения термошароструйного способа бурения в крепчайших горных породах (f = I9) при чистой скорости бурения

6 м/ч, что соответствует сменной производительности 35 м, показывает, что годовой экономический эффект по сравнению с базовым шарошечным способом бурения составляет 60 тыс.руб, а при скорости 10 м/ч - 130 тыс.руб.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дербенев Л.С., Боголюбов А.А., Каркашадзе Г.Г. и др. Результаты испытаний термошароструйного способа образования взрывных скважин. - В кн.: Проблемы горной теплофизики. Л., изд.ЛГИ, 1981.

2. Дербенев Л.С. Исследование и разработка термического и термомеханического способов бурения взрывных скважин на карьерах. Автореф. докт. дис. М., изд.МГИ, 1975.

3. Горяев В.Е. Исследование и разработка метода огневого бурения двухфазными потоками (газ - твердые частицы). Автореф. канд.дис. М., изд.МГИ, 1970.

4. Eckel J.E., Deily F.H., Ledgerwood L.W. AJME, vol.207, 1959.