Г.С.БРОДОВ
Всероссийский НИИ методики и техники разведки, Санкт-Петербург, Россия

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОМ КОЛОНКОВОМ БУРЕНИИ

Геолого-разведочное колонковое бурение характеризуется разнообразием горно-геологических условий. Это требует постоянного совершенствования традиционных, разработки новых прогрессивных технологий бурения скважин и конструкций бурового породоразрушающего инструмента.

При разрушении горных пород, неоднородных по составу, структуре и текстуре, происходят упругие и релаксационные процессы, возникают структурные напряжения, ассоциации дефектов и другие изменения, значение которых весьма существенно при генерировании тепловой энергии породоразрушающим инструментом в процессе бурения. Анализ путей совершенствования процесса колонкового бурения показал, что повышение эффективности механизма разрушения горных пород буровой коронкой за счет использования теплоты, вырабатываемой буровой коронкой при трении по горной породе, является наиболее рациональным способом увеличения ее энерговооруженности и эффективности работы.

Воздействие на горную породу теплоты, генерируемой трением буровой коронки, изменяет физико-механические свойства контактного разрушаемого пограничного слоя горных пород, что позволяет более эффективно использовать реальную мощность на забое скважины. Для этого конструктивные параметры бурового инструмента должны удовлетворять требованиям повышенной термоизносостойкости, обеспечивать в процессе бурения уменьшение энергоемкости разрушения горных пород. Процесс бурения, при котором тепловое воздействие изменяет внутреннюю энергию горных пород, вызывает снижение энергоемкости разрушения за счет снижения их прочности, является термомеханическим бурением.

Бурение твердых горных пород термомеханическим способом реализуется при условии стабилизации температурного режима на забое скважины, обеспечивающего снижение прочности и эффективное разрушение горных пород при сохранении их агрегатного состояния. Установленные аналитические зависимости между механическими и тепловыми параметрами позволяют с достаточной степенью точности использовать их для анализа и оптимизации процесса термомеханического колонкового бурения. Функциональное распределение нагрузки на термофрикционные элементы и на резцы обеспечивает эффективную работоспособность термомеханического породоразрушающего инструмента в широком диапазоне свойств горных пород. Практическая реализация термомеханического колонкового способа бурения возможна на основе применения для породоразрушающих элементов высокотемпературных жаропрочных износостойких композиционных материалов. Термомеханическое колонковое бурение является одним из перспективных направлений повышения эффективности геолого-разведочных работ.

Реально при традиционном способе бурения (алмазное, твердосплавное) не менее 90 % потребляемой мощности буровой коронки на забое в виде теплоты рассеивается в окружающей среде промывочной жидкостью. Иначе это можно представить так, что 9/10 числа алмазов, находящихся в коронке, работает и изнашивается безрезультатно. Из 6-7 кВт мощности, потребляемой коронкой, только 0,5-0,8 кВт приходится на разрушение породы. Термомеханическое колонковое бурение, при котором теплота, генерируемая буровой коронкой, переносится в горную породу, может качественно изменить традиционный механизм разрушения за счет повышения эффективности работы коронки как источника тепловой энергии.

Количество теплоты, вводимой в горную породу буровой коронкой можно выразить зависимостью

$$Q_{\text{н}} = k_{\text{н}} Q,$$

где $k_{\text{н}}$ – коэффициент нагрева породы; Q – общее количество теплоты, генерируемой термомеханической коронкой (ТМ-коронкой), Дж;

$$k_{\text{н}} = 1 \Big/ \left(1 + \frac{\lambda_{\text{к}}}{\lambda_{\text{н}}} \sqrt{\frac{a_{\text{п}}}{a_{\text{к}}}} \right);$$

$\lambda_{\text{к}}$ и $\lambda_{\text{п}}$ – коэффициент теплопроводности коронки (сталь 20) и горной породы, Вт/(м·°С); $a_{\text{п}}$ и $a_{\text{к}}$ – коэффициент температуропроводности горной породы и коронки, м^2/с;

$$Q = P \mu m l_{\text{н}},$$

P – осевая нагрузка на термофрикционный элемент (ТФЭ), даН; μ – коэффициент трения; m – число ТФЭ, шт; $l_{\text{н}}$ – длина пути нагрева породы ТФЭ, м.

С учетом количества генерируемой теплоты, времени нагрева (длины пути трения) и скорости вращения ТМ-коронки, можно получить выражение удельного теплового потока в ваттах на квадратный метр

$$q = 12 k_{\text{н}} P \mu m n / [d_1 - d_2) \alpha_{\text{н}}],$$

где n – скорость вращения коронки, м/с; d_1 и d_2 – наружный и внутренний диаметры ТМ-коронки, м; $\alpha_{\text{н}}$ – длина сектора нагрева с соответствующим центральным углом, м.

При установившемся термомеханическом режиме бурения за каждый оборот ТМ-коронки к горной породе подводится в среднем 300 Дж теплоты, в то время как при работе алмазной коронки – только 60 Дж.

Результаты анализа приведенных зависимостей показывают, что с ростом P и μ увеличивается q. Иной характер имеет зависимость q от n. С увеличением n растет q, но одновременно уменьшается время нагрева; с увеличением $\alpha_н$ растет время нагрева, но одновременно уменьшается q. Эти результаты должны учитываться при конструировании ТМ-коронок. Кроме того, установленные и сопоставленные с экспериментальными данными приведенные зависимости показывают, что основным регулирующим параметром теплового режима термомеханического бурения является осевая нагрузка на коронку [1, 2].

Если использовать для определения коэффициента трения зависимость его от скорости движения поверхности трения прогретых тел [3]

$$\mu_п = A / \nu^{\kappa},$$

где $A = 0{,}3$; $\kappa = 1{,}7$ – постоянные; ν – линейная скорость на цилиндрической поверхности трения, м/с, то тепловой поток в прогретой поверхности трения (пограничном слое горной породы) в квазистационарном температурном режиме можно представить в виде

$$q_п = 2PA / [\nu^{\kappa}(d_1 - d_2)\,\tau_н\,(1 + \lambda_к / \lambda_п \sqrt{\alpha_п / \alpha_к})],$$

где $\tau_н$ – время прогрева до установления квазистационарного температурного режима, с.

Если принять, что мощность трения термомеханической коронки $N_т$ переходит в мощность теплообразования N_Q, т.е. $N_т = N_Q$, то

$$N_Q = F_{тр}\nu = \mu_п P\nu,$$

где $F_{тр}$ – сила трения, Н.

Тогда зависимость мощности, потребляемой при нагреве горной породы, от параметров режима термомеханического бурения будет иметь вид

$$N_н = k_н \mu_п P\nu = k_н \mu_п P\pi d_{ср} n / 60.$$

Анализ результатов эксперимента показал, что решение температурной задачи для поверхности нагрева при интенсивном тепловом потоке можно получить из теоремы Дюамеля, полагая расстояние от источника теплоты $Z = 0$. При этих условиях зависимость температуры на поверхности нагрева примет вид

$$T = (2q / \lambda_п) \sqrt{a_п \tau_н / \pi}\,.$$

Расчетное значение температуры поверхности нагрева составило 943 К. Последняя формула позволяет определить температуру поверхности нагрева при высокотемпературном термомеханическом бурении.

Стабилизация необходимого температурного режима на забое скважины достигается установлением заданного соотношения технологических параметров процесса термомеханического бурения. В установившемся температурном режиме активная тепловая энергия, вырабатываемая ТМ-коронкой, превышает тепловую энергию коронки при традиционном способе бурения. В термомеханическом бурении за каждый оборот коронки диаметром 59 мм к горной породе подводится 125-483 Дж теплоты, в алмазном бурении – только 60 Дж.

На основании анализа баланса генерируемой термомеханической коронкой теплоты за время прогрева пограничного слоя горной породы получено выражение для критерия термомеханического бурения, характеризующего установление процесса при температуре в равномерно прогретом слое более 900 К:

$$K_т = 2k_н \mu F\nu / S_к(d_1 - d_2),$$

где $S_к$ – площадь поверхности трения коронки.

Критерий термомеханического бурения $K_т$ пропорционален количеству теплоты, генерируемой трением термофрикционного элемента коронки и вводимой в породу за 1 с, или активной тепловой мощности, приходящейся на единицу объема нагреваемого слоя. Произведе-

ние критерия $K_т$ на время прогрева породы $t_н$ характеризует общее количество теплоты, которое должно быть накоплено в пограничном слое горной породы, чтобы в нем начал протекать процесс термомеханического бурения. Критерий $K_т$ устанавливает раздел между механическим и термомеханическим бурением.

Заключение

Бурение твердых горных пород термомеханическим способом реализуется при условии стабилизации температурного режима на забое скважины, обеспечивающего снижение прочности и эффективное разрушение горных пород при сохранении их агрегатного состояния.

Установленные аналитические зависимости между механическими и тепловыми параметрами позволяют с достаточной степенью точности использовать их для анализа и оптимизации процесса термомеханического колонкового бурения.

Функциональное распределение нагрузки на термофрикционные элементы и на резцы обеспечивает эффективную работоспособность термомеханического породоразрушающего инструмента в широком диапазоне свойств горных пород.

Практическая реализация термомеханического колонкового способа бурения возможна на основе применения для породоразрушающих элементов высокотемпературных жаропрочных износостойких композиционных материалов.

Термомеханическое колонковое бурение является одним из перспективных направлений повышения эффективности геолого-разведочных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бродов Г.С.* Научно-практические основы термомеханического колонкового бурения: Автореф. ... докт. техн. наук / Санкт-Петербургский горный ин-т. СПб, 2000.

2. *Бродов Г.С.* Научно-практические основы колонкового термомеханического бурения // Наука в СПГГИ / Санкт-Петербургский горный ин-т. СПб, 1999. Вып.4.

3. *Лебедев В.К.* Сварка трением: Справочник / В.К.Лебедев, И.А.Черненко, В.И.Вилль. Л.: Машиностроение, 1987.