

7. Смирнов В.О., Білецький В.С. Підготовчі процеси збагачення корисних копалин: Навчальний посібник. – Донецьк: Східний видавничий дім, Донецьке відділення НТШ, 2012. – 284 с.

8. Wills, B.A. (2006). Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery. 7th ed. Amsterdam ; Boston, MA. p. 157.

9. Gupta A. and Yan D. S. (2006), Mineral Processing Design and Operation, pp 161-253, publisher: Elsevier Science & Technology Books. <http://www.poly-corp.com/mining/>

10. Wills, B.A. (2006), Mineral Processing Technology, pp 146-182, publisher: Elsevier Science & Technology Books.

11. Kenneth N. Han and Maurice C. Fuerstenau (2003), Principles of Mineral Processing, pp 83-95, publisher: Society for mining, Metallurgy and Exploration.

12. Mular, A. (1989), Advances in Autogenous and Semi autogenous Grinding Technology, pp 565-578.

13. Mular, Andrew L. and Bhappu, Roshan B., Mineral Processing Plant Design (2nd Edition), pp 243-290, publisher: Society for mining, Metallurgy and Exploration.

14. Taggart, Arthur F. (1997), Handbook of Ore Dressing, pp 5.11-5.96, publisher: McGraw Hill, New York.

© Сокур М.І., Білецький В.С., Божик Д.П., 2017

Надійшла до редколегії 18.11.2017 р.

Рекомендовано до публікації д.т.н. Л.Ж. Горобець

УДК 622.026

В.Ф. ГАНКЕВИЧ, канд. техн. наук

(Україна, Днепр, Государственное ВУЗ "Национальный горный университет"),

В.И. КРАВЕЦ, канд. техн. наук

(Україна, Днепр, Государственное ВУЗ "Украинский государственный химико-технологический университет"),

О.В. ЛИВАК

(Україна, Днепр, Государственное ВУЗ "Украинский государственный химико-технологический университет")

РАЗУПРОЧНЕНИЕ ТВЕРДЫХ ПОРОД ТЕПЛОМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

Резкое охлаждение породы, нагретой до высоких температур, приводит к развитию мощных растягивающих напряжений на охлаждающей поверхности и, как следствие, растрескиванию породы. Для реализации термоциклического разрушения необходимо поверхность породы сначала каким-то образом нагреть до высоких температур, а затем резко охладить. Способов нагрева горной породы существует достаточно много: горячей газовой струей, струей перегретого пара, электронагревом, плазменной струей, трением и т.д. [1].

Все эти способы в той или иной мере прошли испытания на горных породах. В стеснённых условиях скважин и при наличии больших глубин бурения или обработки полученных полостей практическая реализация большинства способов предварительного нагрева является очень сложной технической задачей. В то же время, при бурении любой скважины имеет место вращение инст-

румента и буровых труб, а также механические нагрузки. Эти два фактора (вращение и нагрузки) являются достаточными для организации в полости скважины, как на забое, так и на стенках эффективного нагрева заданных участков породы трением. Пример алмазного бурения показывает, что при определенных условиях может легко наступить режим бурения вызывающий плавление буримой породы и торца коронки в зоне контакта (режим “прижога” коронки). В реальных условиях проходки скважины такой режим работы является неприемлемым и его стараются избегать.

Элементы трения могут встраиваться как непосредственно в буровой инструмент, если речь идет о повышении эффективности бурения, так и в буровые штанги, если в ходе бурения необходимо создавать вокруг скважины развитую систему трещин.

Задача резкого охлаждения породы в скважине решается значительно проще, чем задача нагрева. Большинство процессов бурения сопровождается промывкой скважины водой или буровыми растворами, которые являются очень эффективными хладагентами. Интенсивность теплосъема с нагретого участка породы определяется, в основном, скоростью движения жидкости вдоль разогретого участка породы и временем контакта пары порода – хладагент.

Для проектирования эффективных элементов трения необходимо иметь решение задачи о температуре на поверхности породы при трении об неё элемента заданной формы.

Величина нагрева породы при трении плоским штампом определяется плотностью теплового потока, поступающего в породу и временем воздействия потока на массив. Плотность теплового потока определяется зависимостью:

$$q = P_0 \cdot f \cdot V \cdot \eta, \quad (1)$$

где P_0 – удельное давление на поверхности трения; f – коэффициент трения штампа о породу; V – скорость перемещения штампа вдоль породы; η – к.п.д. преобразования механической работы по перемещению штампа в тепло (например, при трении матрицы алмазной коронки о забой $\eta = 0,97-0,98$).

Для выяснения природы и характера нагрева поверхности забоя при движении штампа по забою воспользуемся подходом, приведенным в работе [2]. При скольжении сектора по породе в зоне контакта генерируется тепло в виде удельного теплового потока q . Необходимо найти температуру в полупространстве от теплового источника, движущегося по поверхности. Если рассматривается стационарный процесс, то удобно зафиксировать тепловой источник и считать полупространство движущимся со скоростью V параллельно оси x . При этом, температурное поле становится функцией положения, а не времени.

Рассмотрим плоскую задачу об источнике тепла при движении штампа длиной l_c по поверхности полупространства (рис. 1)

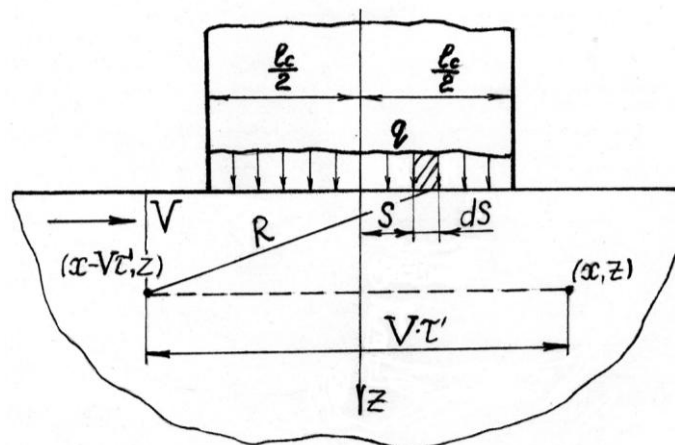


Рис. 1. Схема к расчету температурного поля в полупространстве при нагреве движущимся штампом с удельной интенсивностью q

Распределённый источник в зоне контакта будем рассматривать как набор источников интенсивностью q , действующих вдоль прямой.

Элемент материала в точке (x, z) в момент τ был расположен в точке $(x - V \cdot \tau, z)$, в предыдущий момент $\tau - \tau'$. Тепло, выделяемое источником в точке S за время $d\tau'$ составляет $q \cdot ds \cdot d\tau'$. Распределение температуры на расстоянии R от линейного теплового нагревателя при мгновенном приложении к границе полупространства распределенных вдоль прямой источников нагрева интенсивностью H , определяется уравнением [2].

$$T - T_0 = \left(\frac{H}{2\pi\lambda\tau} \right) \exp\left(-\frac{R^2}{4a\tau} \right), \quad (2)$$

где T_0 – начальная температура полупространства; H – количество тепла, выделяющееся на единицу длины; λ – коэффициент теплопроводности материала полупространства; τ – время воздействия источника тепла; R – радиальная координата точки полупространства; a – коэффициент температуропроводности материала полупространства.

Стационарная температура элемента расположенного в данный момент в точке x (рис.1) находится интегрированием уравнения (2) от $\tau = -\infty$ до текущего $\tau = 0$

$$\Theta(x, z) - \Theta_0 = \frac{q}{2\pi\lambda} \int_{-\frac{l_c}{2}}^{\frac{l_c}{2}} dS \int_{-\infty}^0 \left[\exp\left\{ -\frac{(x - S - V\tau')^2 + z^2}{4a\tau'} \right\} \frac{d\tau'}{d\tau} \right], \quad (3)$$

где λ – коэффициент теплопроводности полупространства; a – коэффициент температуропроводности полупространства.

Максимальная температура имеет место на поверхности $z = 0$ и может быть согласно (3) записана в форме

$$\Theta(x, z) - \Theta_0 = \frac{q \cdot l_c}{\lambda \cdot L^{1/2}} \cdot F(L, X), \quad (4)$$

где $L = \frac{V \cdot l_c}{4 \cdot a}$ и $X = \frac{V \cdot x}{2 \cdot a}$

Интегралы (3) были вычислены Егером [3]. Параметр L , известный как число Пекле, интерпретируется как отношение скорости поверхности к скорости диффузии тепла в тело. При больших числах Пекле ($L > 5$) тепло диффундирует лишь на небольшое расстояние в тело за время, которое требуется поверхности для прохождения через нагретую зону. Поток тепла почти перпендикулярен поверхности во всех точках. Температура точки поверхности определится выражением:

$$T - T_0 = \frac{2q(a\tau)^{1/2}}{\pi^{1/2}\lambda} = \frac{ql_c}{2\lambda} \left\{ \frac{2}{\pi} \left(\frac{4a}{Vl_c} \right) (1+x) \right\}, \quad -\frac{l_c}{2} \leq x \leq \frac{l_c}{2}, \quad (5)$$

Средняя температура на поверхности для рассматриваемого источника определяется выражением

$$T_{cp} - T_0 \approx \frac{2ql_c}{3\pi^{1/2}\lambda} \cdot L^{-1/2}. \quad (6)$$

Уравнение (5) базируется на представлении об одномерном потоке тепла в тело, оно приложимо к случаям равномерного распределения источников в любой плоской области. Средняя температура для распределения источников по области квадрата со стороной l , также дается формулой (6). А учитывая то, что при трении штампа о породу эффективная глубина проникновения тепла в массив происходит очень медленно, можно считать приведенные зависимости справедливыми не только для квадрата, а и для любой формы поперечного сечения.

Зависимость (5) позволяет рассчитать изменение температуры по площадке нагрева во времени. Она дает возможность определять температуру породы в набегающей части штампа и сбегавшей.

Для подтверждения возможности использования зависимости (5) в технических расчетах был приведен сравнительный анализ величины нагрева породы под штампом алмазной коронки, полученной экспериментально в работе [4] и

рассчитанной по полученным зависимостям.

При различных режимах проходки алмазными коронками марки О2И4 с диаметрами 76 и 93 мм, методом срезаемых термопар, встроенных в гранит были экспериментально измерены температуры поверхности забоя в процессе бурения. Для этих же режимов была рассчитана температура поверхности гранита в сбегаяющей части штампа (сектора) по зависимости (5).

Для расчета были приняты следующие характеристики гранита:

$$\lambda = 2,4 \frac{Вт}{м \cdot ^\circ C} - \text{коэффициент теплопроводности};$$

$$a = 0,83^{-6} \frac{м^2}{с} - \text{коэффициент температуропроводности.}$$

Характеристики штампов (секторов/) и коронок в целом:

$l_c = 27 мм$ – длина штампа по средней линии для коронки диаметром 76 мм;

$l_c = 34 мм$ – длина штампа по средней линии для коронки диаметром 93 мм;

$D_{вн} = 59 мм$ – внутренний диаметр для коронки 76 мм;

$D_{вн} = 76 мм$ – внутренний диаметр для коронки 93 мм;

$D_{ср} = 67,5 мм$ – средний диаметр для коронки 76 мм;

$D_{ср} = 84,5 мм$ – средний диаметр для коронки 93 мм;

$n = 6$ – количество секторов (штампов) в коронках, столько же промывочных окон;

$l_{н.о.} = 8 мм$ – длина промывочного окна.

Удельный тепловой поток, поступающий в породу от коронки при условии, что вся работа трения преобразуется в тепло, определялась по зависимости [5]:

$$q = \frac{N}{S}, \quad (7)$$

$$\text{где } N = 10^{-4} \cdot P \cdot n \cdot D_{ср}, \quad (8)$$

S – площадь контакта секторов коронки, $м^2$; P – осевое усилие на коронку, даН; n – частота вращения коронки, $мин^{-1}$; $D_{ср}$ – средний диаметр коронки, м.

Результаты экспериментальных измерений температур в породе при бурении алмазной коронкой и рассчитанные по зависимости (5) приведены в табл. 1.

Экспериментальные и расчетные значения температур на забое при работе алмазных коронок

Диаметр коронки, мм	Осевая нагрузка, даН	Частота вращения, об/мин	Расход очистного агента, л/мин	Температура, К		Абсолютное отклонение (модуль), К	Относительное отклонение, (%)
				Эксперим.	По завис. (5)		
76	1000	470	10	1173	1100	73	6,6
			20	993		107	9,7
			70	743		357	32,0
76	1500	470	10	1283	1266	17	1,3
			20	1238		28	2,2
			30	1043		223	17,6
76	2000	470	10	1328	1598	270	16,8
			20	1263		335	20,9
			30	1073		525	32,8
76	1500	277	20	1093	970	123	12,6
93	1500	470	15	1253	1370	117	8,5
			25	1163		207	15,1
			70	993		377	27,5

Сравнение экспериментальных и расчетных результатов по таблице показывает, что с уменьшением интенсивности промывки скважин значения расчетных температур приближается к экспериментальным значениям. И это – неудивительно, так как расчетная зависимость (5) не предусматривает какого-либо охлаждения, как полупространства, так и штампа.

Следует отметить, что полученная зависимость (5) справедлива для малых времен взаимодействия штампа и породы (доли секунды-секунды), так как она не учитывает вероятность нагрева самого штампа. Однако она даёт возможность надёжно определить момент времени, когда в зоне контакта пары: штамп – порода, наступает критическое состояние (плавление породы или материала штампа).

Таким образом, полученные зависимости позволяют нам рассчитывать любые элементы трения о забой и стенки скважины при проектировании технологических процессов и рабочих органов, реализующих в скважинах термоциклическое растрескивание и разупрочнение породы (вплоть до плавления) с предварительным нагревом породы трением.

Список литературы

1. Дмитриев А.П., Гончаров С.А. Термическое и комбинированное разрушение горных пород. – М.: Недра, 1978. – 304 с.
2. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия. – М.: Мир, 1989. – 510 с.
3. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. – М.: Наука, 1964. – 296 с.
4. Кожевников А.А., Вырвинский П.П. Термоциклическое разрушение горных пород при разведочном бурении с генерированием тепловой энергии трением. – М., 1985 – 38 с.

5. Технология и техника разведочного бурения / Ф.А. Шамшев, С.Н. Тараканов, Б.Б. Кудряшов и др. – М.: Недра, 1983 – 565 с.

© Ганкевич В.Ф., Кравец В.И., Ливак О.В., 2017

*Надійшла до редколегії 19.12.2017 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*

УДК 622.27:621.926.9(339.138)

М.І. СОКУР, д-р техн. наук

(Україна, Кременчук, Кременчуцький національний університет ім. Михайла Остроградського),

В.С. БІЛЕЦЬКИЙ, д-р техн. наук

(Україна, Харків, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"),

Д.П. БОЖИК

(Україна, Кременчук, Кременчуцький національний університет ім. Михайла Остроградського)

ДОСЛІДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНОЇ КОНСТРУКЦІЇ КОРПУСІВ МЛИНІВ САМОПОДРІБНЕННЯ

Постановка проблеми і стан її вивчення. З останньої третини ХХ ст. самоподрібнення є найбільш прогресивною технологією рудопідготовки у вітчизняній та іноземній практиці. За станом на 2010 рік в зарубіжній гірничій промисловості знаходилось в експлуатації близько 160 великих млинів повного чи часткового самоподрібнення, у тому числі 65 з них працювали в залізорудній промисловості, 28 – у мідній, а інші – при збагаченні руди рідкісних і благородних металів. У порівнянні з подрібненням у стержневих і кульових млинах самоподрібнення характеризується рядом переваг: – виключаються стадії середнього і дрібного дроблення; – економія подрібнюючих тіл (не застосовуються кулі і стержні); – відсутнє забруднення подрібненого матеріалу металом; – поліпшення технологічних показників подальшого збагачення внаслідок кращого розкриття і меншого шламоутворення; – при переробці золотовмісних руд з наступним ціануванням виключаються втрати золота з залізним скрапом і крихтою, знижується витрата ціаніду і поліпшуються умови праці на кварцових і силікозонебезпечних рудах; – при флотації молібденових руд використання млинів самоподрібнення покращує показники збагачення, що пов'язано з меншим "назалізненням" лусочок молібденіту. [1-10].

Мета статті – дослідження напруженого стану барабанів млинів самоподрібнення з традиційними і посиленними торцевими стінками.

Виклад основного матеріалу

Млин МБ-90-30. На підставі досліджень напруженого стану барабана млинів в лабораторних і промислових умовах і розробленого наукового авторського підходу до конструкції барабанів великих млинів було модернізовано бара-