

УДК 622.026

В.Ф. ГАНКЕВИЧ, канд. техн. наук, **Н.Л. КУРНАТ**

(Украина, Днепр, Государственное ВУЗ Национальный технический университет «Днепровская политехника»),

О.В. ЛИВАК

(Украина, Днепр, Государственное ВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет»)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Разрушение и дробление горных пород для использования в дальнейших технологических процессах осуществляется разными способами, а именно: взрыв, ультразвук [1], тепловые источники, такие как факелы, горелки, лазеры и т.д.

Лазерные источники излучения относятся к концентрированным потокам энергии. Учитывая, что лазеры могут воздействовать в зависимости от их конструктивных особенностей либо непрерывным потоком излучения, либо импульсным, получим разные следствия.

Нагревание тела непрерывным лазерным излучением напоминает процесс передачи тепла при перемещении факела горелки с большой скоростью относительно поверхности породы. В данном случае возникает поле температур. В начальный момент времени $\tau = 0$ на участок горной породы действует мгновенный источник тепла Q . Тепло проникает на глубину z , создавая температурный градиент. И если глубина проникновения тепла стремится к нулю $z \rightarrow 0$, то мгновенный источник приближается к поверхности. Здесь надо учесть, что тепловые свойства горных пород не остаются постоянными в процессе нагревания. Теплопроводность горных пород с увеличением температуры в целом уменьшается [2] в зависимости от кристаллической структуры. Но, следует заметить, что горные породы по своему строению неоднородны. В них содержатся участки нескольких минералов, которые сильно отличаются по тепловым свойствам. Поэтому воздействие концентрированного потока энергии на различные участки горной породы могут иметь и разные значения температур.

Отметим также, что при лазерном воздействии образуется расплав, возможны химические реакции на поверхности, а также часть породы может испариться, меняя при этом глубину проникновения тепла внутрь.

Заметим, что лазерное излучение – это поток электромагнитных волн с определенной частотой и длиной волны. Как отмечено в [3], коэффициент поглощения энергии при воздействии на горные породы увеличивается, и это даёт предпосылки применять лазеры в комбинации с другими средствами разрушения горных пород.

Становится ясно, что воздействие лазеров на горные породы существенно отличается от механических и термомеханических подходов. Кроме того, ла-

зерное излучение помимо волновых свойств обладает также корпускулярными свойствами. Поэтому теплообмен (передача тепла) на поверхности твёрдых тел является сложным явлением и представляет сложную задачу.

Лучистая энергия воздействует на атомы и электроны кристаллической решетки горной породы, приводя их в колебательное движение. Часть энергии отражается в окружающее пространство. Для разрушения большой интерес представляет решение уравнения теплопроводности при нагреве поверхности полубесконечного тела неподвижным и подвижным нормально – круговым источником (источником, распределённым нормально по площади, ограниченной окружностью).

В нашем случае необходимо решение задачи нагрева полубесконечного тела перемещающимся лазерным лучом. В движущейся в положительном направлении оси x с постоянной скоростью V в системе координат (x, y, z) , помещенной в центр пятна нагрева уравнение имеет вид [4].

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial z} \right) = C_v(T) \left(\frac{\partial T}{\partial t} - V \frac{\partial T}{\partial x} \right);$$

$$\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=0} = -A(T) q_0 \exp \left[-k(x^2 + y^2) \right];$$

$$T(x, y, z, 0) = T_0.$$

Здесь $T(x, y, z)$ – температура; t – время; x, y, z – пространственные координаты; v – скорость перемещения теплового источника; q_0 – плотность потока излучения; k – коэффициент сосредоточенности; $A(T)$ – поглощательная способность; $\lambda(T)$ – коэффициент теплопроводности; $C_v(T)$ – объемная теплоёмкость; T_0 – начальная температура.

Отметим, что при воздействии лазерного излучения с горной породой, на поверхности последней могут происходить химические реакции, например, окисление. Это, в свою очередь, приводит к возникновению различных химических соединений. При этом изменяется коэффициент поглощения и, следовательно, меняется поглощательная способность $A(T)$. Этот процесс приводит к изменению температурных полей на поверхности и внутри материала. В таком случае поглощательная способность $A(T)$ функционально усложняется и её можно записать в виде:

$$A(T) = A_0 - A(\eta),$$

где A_0 – начальная поглотительная способность «чистого» материала, $A(\eta)$ – изменение поглотительной способности в зависимости от химического состава, образующегося на поверхности материала. Такое изменение поглотительной способности существенно зависит от химсостава обрабатываемой поверхности.

Решение изложенной выше нелинейной задачи теплопроводности приводит к появлению громоздких аналитических зависимостей коэффициента теплопроводности, объёмной плотности и поглотительной способности от температуры.

Для решения задач определения распределения температур по телу и оценки температурных полей существуют методы приближенных расчетов. Точное решение нелинейных уравнений теплопроводности возможно в том случае, если рассматривать случай аппроксимирования решения степенными функциями или многочленами, содержащими несколько слагаемых. Возможно использовать различные вариационные методы. В любом случае подробное решение задачи приводить не будем. Отметим только следствия. Температура нагрева тела меняется и реально имеет место градиент температуры внутри тела, создающий растягивающие и сжимающие напряжения, которые приводят к образованию трещин. Увеличение размеров трещин и их дальнейший рост происходит с некоторой задержкой по времени, что связано с размерами и химсоставом исходного образца.

Экспериментальное воздействие излучения непрерывного CO_2 -лазера «Кардамон» (длина волны 10,6 мкм, плотность мощности 10^4 Вт/см² при диаметре 2 мм сфокусированного луча) осуществлялось на горных породах типа базальта и привело к обнадеживающим результатам.

При стационарном нагреве линии растрескивания образца оказались близки к радиальным. Это указывает на однородность породы. При движущемся источнике излучения сетка растрескивания неравномерна и порода разрушается на куски различных размеров. Процесс разрушения ускорился при повышенной влажности окружающей среды.

Как отмечается в [3], при интенсификации процесса термического разрушения горных пород представляется целесообразным усиление теплового воздействия на зону пятна нагрева. Это возможно путём увеличения удельного теплового потока, что и происходит при лазерном воздействии. Следовательно, существует перспективное направление связанное с использованием концентрированных источников излучения для разрушения и дробления горных пород.

Список литературы

1. Карманов Т.Д., Нугушанов К.К., Калиев Б.З. Способы повышения эффективности процесса бурения с помощью ультразвука. // Тр. междуна. науч.-практ. конференции. – Алматы, 2013. – Т.1 – С. 374-377.
2. Бызов В.Ф., Филиппов Н.Ф., Образцов А.П., Ицхакин В.Д. Электротермическое и электротермомеханическое разрушение крепких горных пород. – К.: Техника, 1989. – 144 с.

3. Москалев А.Н., Пигида Е.Ю., Керекилица Л.Г., Вахалин Ю.Н. Разрушение горных пород при термоциклическом воздействии. – К.: Наук. думка, 1987. – 248 с.

4. Рыкалин Н.Н., Углов А.А., Смуров Н.Ю. – Расчет нелинейных задач лазерного нагрева металлов – воздействие концентрированных потоков энергии на материалы. – М.: Наука, 1985 – С.20-36.

5. Структура и прочность материалов при лазерных воздействиях / М.С. Бахарев, Л.И. Миркин, С.А. Шестериков и др. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1988. – 224 с.

© Ганкевич В.Ф., Курнат Н.Л., Ливак О.В., 2018

*Надійшла до редколегій 20.04.2018 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. В.П. Надутим*

УДК 622.73

А.С. ДРЕШПАК

(Украина, Днепр, Государственное ВУЗ Национальный технический университет "Днепропетровская политехника")

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКТИВНОГО ИСПОЛНЕНИЯ ФИГУРНЫХ ДИСКОВ ВАЛКОВО-ПАЛЬЦЕВОГО ГРОХОТА

В Украине разрабатывается большое количество карбонатных месторождений. Высококачественные флюсовые известняки для металлургии традиционно разрабатывались и расположены во временно недоступных регионах материковой Украины и Крымском полуострове. Остальные карбонатные месторождения, находящиеся на территории Украины, имеют низкие физико-механические свойства и химический состав. Такая структура месторождений при проведении традиционных горно-добычных работ и технологических производственных линий обуславливает накопление некондиционных продуктов переработки с крупностью 0-20 мм в отвалы предприятий. За десятилетия работы таких предприятий накоплено в отвалы более 50 млн т. Из таких отвалов возможно выделять несколько классов крупности, пригодных для дальнейшего использования в металлургической и цементной промышленности.

Валковые грохоты часто используются при просеивании частиц горной массы с высокой влажностью или высоким содержанием липких или глинистых частиц [1-3]. В литературе слабо отражены методы выбора ячеек грохота, а также расчеты возможности их самоочистки. Для решения задачи по разделению известняка с глинистыми примазками предлагается использование валково-пальцевого грохота, общий вид которого приведен на рис. 1.