

УДК 622.02:536.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА РАБОТУ РАЗРУШЕНИЯ КРЕПКИХ ГОРНЫХ ПОРОД

Султаналиева Р.М., Конушбаева А.Т., Турдубаева Ч.Б.

*Кыргызский государственный технический университет имени И. Раззакова, Бишкек,
e-mail: raia-ktu@mail.ru, aikat80@mail.ru, myrzaika42@gmail.com*

При переработке минерального сырья, с целью извлечения металлов и полезных компонентов, в технологические процессы дробления и измельчения вовлекается большой объем трудно измельчаемых руд и минералов. Использование для этих руд традиционных способов измельчения приведет к росту энергозатрат, интенсивному износу металлических частей мельниц, к значительным потерям извлекаемых металлов. В связи с этим необходимость разработки способов воздействия на горные породы, изменяющие их прочность в сторону уменьшения, определения работы разрушения, улучшающие раскрываемость минеральных зерен, применения экологически чистых технологий извлечения металлов из крепких руд, в настоящее время стала стимулом новых исследований влияния физических полей на механические свойства горных пород. Поэтому изучены зависимости, отражающие влияние температуры, под воздействием электромагнитных полей, на работу разрушения. В статье рассматривается аналитический подход определения работы разрушения крепких горных пород, с учетом изменения их физико-механических свойств. Устанавливается зависимость работы разрушения горных пород от температуры. Для определения работы разрушения горных пород были использованы образцы взятые из разных месторождений Кыргызстана. Исследуются прочностные свойства образцов до и после механического и электромагнитного воздействия.

Ключевые слова: крепкие горные породы, работа разрушения, предел прочности, напряжения, деформация, температура

RESEARCH INFLUENCE OF TEMPERATURE ON WORK OF DESTRUCTION STRONG ROCKS

Sultanalieva R.M., Konushbaeva A.T., Turdubaeva Ch.B.

*Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov, Bishkek,
e-mail: raia-ktu@mail.ru, aikat80@mail.ru, myrzaika42@gmail.com*

In the processing of mineral raw materials, in order to extract metals and useful components, a large volume of hard-to-grind ores and minerals are involved in the technological processes of crushing and grinding. The use of traditional grinding methods for these ores will lead to an increase in energy consumption, intensive wear of the metal parts of mills, and significant losses of recoverable metals. In this regard, the need to develop methods for influencing rocks that change their strength in the direction of decrease, determine the work of destruction, improve the detection of mineral grains, use environmentally friendly technologies for the extraction of metals from hard ores, has now become an incentive for new studies of the influence of physical fields on mechanical rock properties. Therefore, the dependences reflecting the influence of temperature, under the influence of electromagnetic fields, on the work of destruction are studied. The article considers the analytical approach to determining the work of destruction of strong rocks, taking into account changes in their physical and mechanical properties. The dependence of the work of rock destruction on temperature is established. Samples taken from different deposits of Kyrgyzstan were used to determine the work of rock destruction. The strength properties of samples are studied before and after mechanical and electromagnetic effects.

Keywords: strong rocks, work of destruction, tensile strength, stresses, deformation, temperature

По кинетической теории разрушение твердых тел происходит следующим образом. Приложение к телу внешней нагрузки вызывает напряжение межатомных связей. При этом вследствие неоднородности строения реальных тел на субатомном уровне внешняя нагрузка распределяется неравномерно по связям: возникают локальные напряжения. В этих местах энергия активации распада межатомных связей понижается особенно сильно. Именно в этих местах наиболее интенсивно идут процессы термофлуктуационного разрыва структурных связей. Здесь формируются очаги разрушения, развитие которых и заканчивается распадом тела на части.

Одним из способов разрушения крепких горных пород и руд является электро-

термический способ разрушения горных пород [1, 2].

Сравнение с электротермическими способами определения работы разрушения указывает на меньшую энергоемкость механического способа. Фактически же часто выгоднее производить разрушение пород немеханическими (термическим, электротермическим и др.) способами. Это обусловлено следующими факторами:

1) разрушение пород механическими способами возможно только весьма прочными износостойкими внедряющимися в породу рабочими органами при приложении к ним больших усилий;

2) механическое разрушение связано с поверхностным воздействием на породу, в результате чего в последней преобладают

силы сжатия, в отличие от немеханических способов, при которых в процессе разрушения, как правило, основную роль играют растягивающие напряжения;

При термическом разрушении, как известно, все тепло, поступающее в горную породу, расходуется на нагрев ее до температуры, при которой термические напряжения достигают разрушающих [3–5].

Цель исследования: оценка возможности определения влияния температуры на работу разрушения образцов из разных горных пород.

Материалы и методы исследования

Для определения работы разрушения горных пород были использованы образцы взятые из разных месторождений Кыргызстана. Исследуются прочностные свойства образцов до и после механического и электромагнитного воздействия.

Рассматривается аналитический подход влияния одноосного сжатия на образцы правильной геометрической формы. Сжимающие усилия интенсивности P приводят к совершению работы разрушения горных пород. Работа A расходуется на разрыв связей в породе, на прорастание трещин; в конечном счете – на разрушение породы. Работа разрушения определяется по формуле [6]:

$$A = \beta P V_0 T - P^2 V_0 / (2 Y_0), \quad (1)$$

где β – коэффициент объемного теплового расширения породы; T – среднее значение температуры в объеме V_0 ; Y_0 – объемный модуль упругости породы.

Объемный модуль упругости породы:

$$Y_0 = E / [3(1 - 2\mu)], \quad (2)$$

где E – модуль Юнга, μ – коэффициент Пуассона.

Из уравнений (1) и (2) определяется работа разрушения:

$$A = \beta P V_0 T - \frac{3(1 - 2\mu)}{2E} P^2 V_0. \quad (3)$$

Исследуемые образцы из песчаника и мрамора ($h = 5$ см; $d = 4$ см) цилиндрической формы соответствуют стандарту для проведения численных и экспериментальных исследований. Работа разрушения определена для трех одинаковых по объему образцов горных пород (песчаник, мрамор). Первый образец контрольный (без нагрева, при комнатной температуре 27°C), другие образцы при влиянии электромагнитного воздействия до температуры 59°C , 97°C и 134°C .

С помощью генератора высоковольтного переменного напряжения задаем различные значения разности потенциалов в концах исследуемого образца горной породы. При проведении трех значений высоковольтного переменного напряжения 2000 В, 2100 В, 2300 В и 2540 В, лазерный термометр регистрирует значения температур.

Температура образца изменяется от 27°C до 134°C под действием высокого напряжения переменного тока (стенд для создания разряда).

Результаты исследования и их обсуждение

Работа разрушения для песчаника с учетом следующих данных: $V = 0,0000628$ м³, $E = 1,8 \cdot 10^4$ МПа, $\mu = 0,25$, $\beta = 11,6 \cdot 10^{-6}$ 1/ $^\circ\text{C}$ и мрамора: $V = 0,0000628$ м³, $E = 5,6 \cdot 10^4$ МПа, $\mu = 0,25$, $\beta = 5,5 \cdot 10^{-6}$ 1/ $^\circ\text{C}$ [7–9], определена по формуле (3) с помощью программы Matlab [10].

Далее, используя результаты экспериментов (табл. 1 и 2), приводятся графики зависимости работы разрушения от внешней нагрузки при различных значениях температуры.

Таблица 1
Расчетные значения работы разрушения песчаника

№	Название горной породы	P , кН	A , кДж, работа разрушения
1	Песчаник (исходный), при температуре 27°C	30	2,92
2		70	6,83
3		110	10,74
4		150	14,64
5		190	18,55
6		230	22,45
1	Песчаник, при температуре 59°C	30	2,11
2		70	4,94
3		110	7,77
4		150	10,59
5		190	13,42
6		230	16,25
1	Песчаник, при температуре 97°C	30	1,29
2		70	3,01
3		110	4,73
4		150	6,45
5		190	8,17
6		230	9,89
1	Песчаник, при температуре 134°C	30	0,59
2		70	1,38
3		110	2,16
4		150	2,95
5		190	3,74
6		230	4,52

Таблица 2

Расчетные значения работы разрушения мрамора

№	Название горной породы	P , кН	A , кДж, работа разрушения
1	Мрамор (исходный), при температуре 27°C	40	1,85
2		60	2,78
3		80	3,71
4		100	4,63
5		120	5,55
6		140	6,48
7		160	7,41
1	Мрамор, при температуре 59°C	40	1,34
2		60	2,01
3		80	2,68
4		100	3,35
5		120	4,02
6		140	4,69
7		160	5,36
1	Мрамор, при температуре 97°C	40	1,01
2		60	1,22
3		80	1,63
4		100	2,04
5		120	2,45
6		140	2,85
7		160	3,26
1	Мрамор, при температуре 134°C	40	0,373
2		60	0,56
3		80	0,746
4		100	0,933
5		120	1,12
6		140	1,31
7		160	1,49

Поскольку в состав пород входят различные минералы, имеющие различные значения тепловых параметров, электрических и магнитных характеристик, температур фазовых переходов, то для некоторых пород достижение максимума предела

прочности при сжатии $\sigma_{сж}$ будет зависеть от температуры нагревания.

Как видно из графика, с увеличением температуры работа разрушения горных пород уменьшается, что подтверждается теорией разрушения горных пород (рис. 1 и 2).

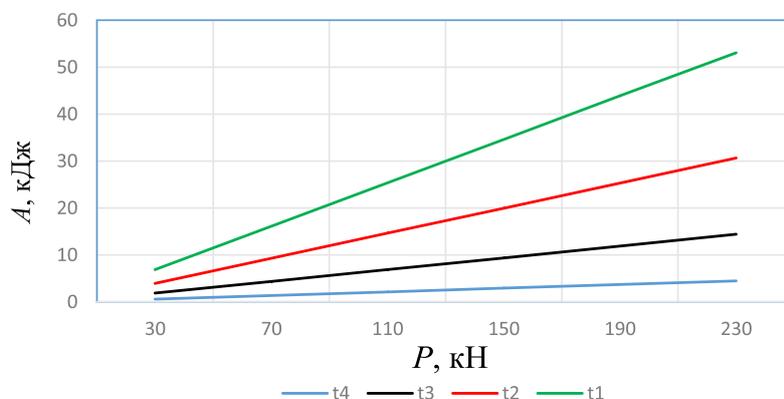


Рис. 1. График зависимости работы разрушения от внешней нагрузки песчаника при различных температурах ($t_1 = 27^\circ\text{C}$, $t_2 = 59^\circ\text{C}$, $t_3 = 97^\circ\text{C}$ и $t_4 = 134^\circ\text{C}$)

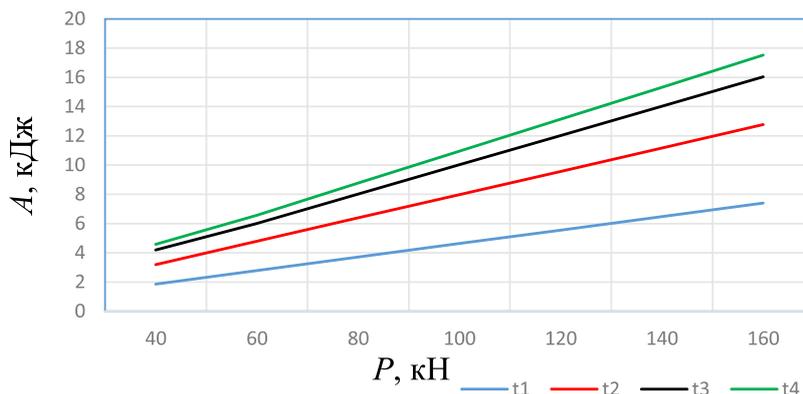


Рис. 2. График зависимости работы разрушения от внешней нагрузки для мрамора при различных температурах ($t_1 = 134^\circ\text{C}$, $t_2 = 97^\circ\text{C}$, $t_3 = 59^\circ\text{C}$ и $t_4 = 527^\circ\text{C}$)

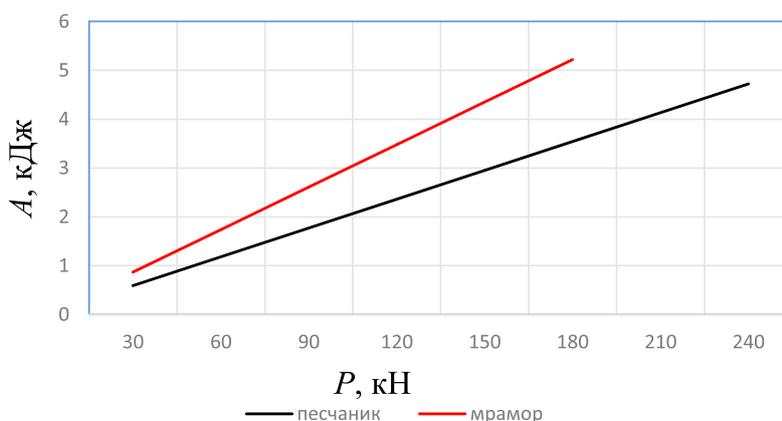


Рис. 3. График сравнения зависимости работы разрушения при температуре 134°C для двух горных пород от внешней нагрузки (1 – песчаник, 2 – мрамор)

При сопоставлении двух образцов выявлено, что работа разрушения песчаника больше чем мрамора, при одинаковых ростах значений температуры (рис. 3).

Как видно из графика, с увеличением температуры работа разрушения горных пород уменьшается, что подтверждается теорией разрушения горных пород.

Выводы

1. Вычислена работа разрушения песчаника (это полиминерал) и мрамора (это мономинерал – кальцит) при комнатной и трех значениях повышенной температуры.

2. Выявлено, что с увеличением температуры работа разрушения этих горных пород уменьшается. При этом работа разрушения песчаника больше, чем мрамора, при одинаковых значениях температуры. Это можно объяснить тем, что коэффициент теплового расширения песчаника больше в два раза, чем у мрамора. А значение работы разрушения прямо пропорционально этому коэффициенту.

Список литературы

1. Новые методы разрушения горных пород / Емелин М.А. и др. М.: Наука, 1996. 256 с.
2. Кичигин А.Ф. Аналитические исследования механизма разрушения горных пород // Сборник научных трудов. Караганда: Карагандинский политехнический институт, 1995. № 5. С. 15–20.
3. Трубецкой К.И., Викторов С.Д. Физические проблемы разрушения горных пород. М.: 2014. 260 с.
4. Гончаров С.А. Физико-технические основы ресурсосбережения при разрушении горных пород. М.: Изд. МГТУ, 2009. С. 350.
5. Окресс Э., Алыбин В.Г., Пастрон Э.Я., Шлифер Э.Д. Применение энергии СВЧ в производстве. М.: Наука, 2010. С. 345.
6. Елисеев В.В. Механика деформируемого твердого тела. СПб., 2006. С. 260.
7. Горная энциклопедия. М.: Издательство «МИФ», 2010. С. 350.
8. Султаналиева Р.М., Тажибаев К.Т. Энергосберегающий способ измельчения крепких руд // Труды Международного научного симпозиума «Неделя горняка-2015». ГИАБ. М.: Изд. «Горная книга», 2015. № 12. С. 76–83.
9. Султаналиева Р.М., Козубай И. Определение удельной энергоёмкости разрушения строительных материалов // International scientific conference «Science, Technology and Higher Education» Strategic Studies Institute: материалы Международной конференции. Канада (Вествуд), 2017. С. 94–99.
10. Дьяконов В.П. MATLAB 6. Учебный курс. СПб.: Питер, 2011. С. 180.