

УДК 622. 02

**ВЛИЯНИЕ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ВОЛН НА УДЕЛЬНУЮ
ЭНЕРГОЕМКОСТЬ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД
МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЖАМГЫР**

Маканов К. М.

Институт машиноведения, автоматике и геомеханики НАН КР

Рассмотрены влияния СВЧ волн на крепость и удельную энергоёмкость измельчения кварца и гранита месторождения Жамгыр. Приведены результаты исследования изменений прочности и удельной энергоёмкости измельчения кварца и гранита при различных продолжительностях воздействия СВЧ волн. Установлено, что оптимальное время воздействия СВЧ волн, с точки зрения максимального уменьшения удельной энергоёмкости измельчения, для кварца составляет 3 минуты, а для гранита – 5 минут.

Ключевые слова: горная порода, минерал, измельчение, волна, энергоёмкость, рудоподготовка, обогащение, разупрочнение, навеска, разрушение.

**ЖАМГЫР КЕНИНИН ТОО-ТЕКТЕРИНИН МАЙДАЛАНЫШЫНЫН
САЛЫШТЫРМА ЭНЕРГИЯ СЫЙЫМДУУЛУГУНА ЖОГОРКУ
ЖЫШТЫКТАГЫ МИКРОТОЛКУНДАРДЫН ТИЙГИЗГЕН ТААСИРИ**

Маканов К. М.

КР УИА Машина таануу, автоматика жана геомеханика институту

Жамгыр кенинин кварц жана гранитин майдалоонун салыштырма энергия сыйымдуулугуна жана алардын бышыктыгына эң жогорку жыштыктагы микротолкундардын тийгизген таасири каралды. Эң жогорку жыштыктагы микротолкундардын ар кандай узактыктагы таасиринен кварцты жана гранитти майдалоонун салыштырма энергия сыйымдуулугунун жана алардын бышыктыгынын өзгөрүшүн изилдөөнүн натыйжалары келтирилди. Эң жогорку жыштыктагы микротолкундардын таасиринин оптималдуу убактысы, майдалоонун салыштырма энергия сыйымдуулугун максималдуу кыскартуу көз карашы боюнча алганда, кварц үчүн 3 мүнөт, гранит үчүн 5 мүнөт экени аныкталды.

Баштапкы сөздөр: тоо тек, минерал, майдалоо, толкун, энергия сыйымдуулугу, кенди даярдоо, кен байытуу, бышыктыгын азайтуу, үлгү, талкалоо.

INFLUENCE OF MICROWAVE WAVES ON THE SPECIFIC ENERGY INTENSITY OF GRINDING ROCKS OF THE ZHAMGYR DEPOSIT

Маканов К. М.

Institute of Machinery researching, Automatics and Geomechanics of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic

The influence of microwave waves on the strength and specific energy intensity of grinding quartz and granite of the Zhamgyr deposit is considered. The results of a study of changes in the strength and specific energy intensity of grinding quartz and granite for different durations of exposure to ultra – high – frequency waves are presented. It has been established that the optimal time of exposure to microwave waves, from the point of view of maximum reduction in the specific energy intensity of grinding, for quartz is 3 minutes, and for granite – 5 minutes.

Key words: rock, mineral, grinding, wave, energy intensity, ore preparation, enrichment, softening, weighing, destruction.

Ведение. Одним из ключевых задач в горной промышленности на сегодняшний день – это усовершенствование технологий, которые позволят с минимальными затратами осуществлять работу по рудоподготовке к обогащению полезных ископаемых. Для разработки данных технологий требуется глубокое понимание физических свойств горных пород, их прочность, твердость, энергоемкость измельчения, структурную слоистость, упругость, а также уровень трещиноватости, и другие свойства. Как известно, некоторые руды в которых содержатся тяжелые, легкие благородные и цветные металлы, обладают высокой прочностью, и использование широко известных методов измельчения этих руд и их предварительной обработки непосредственно перед обогащением становится процессом с высоким потреблением энергии и значительными потерями при добыче драгоценных металлов и полезных ископаемых.

Исходя из вышесказанного оптимизация процесса рудоподготовки путем изменения ее свойств сегодня является приоритетной задачей в горнодобывающей сфере.

Методы и результаты. Вопросу разрушения массивов горных пород различными способами всегда уделялось большое внимание со стороны ученых и исследователей. Это связано с необходимостью добычи полезных ископаемых, шахтное и подземное строительство, строительство туннелей, автодорог, мостов, а также предотвращения обвалов и оползней. Существует несколько основных методов разрушения горных пород. Одним из них является механическое разрушение при помощи взрывов. Метод заключается использованием взрывчатых веществ, при котором создается сильное давление что вызывает разрушение породы. Наряду с механическими методами разрушения материалов, появляются новые тепловые методы разрушения.

В начале 60 – х годов с момента формирования раздела науки о физических свойствах горных пород, учеными Е. И. Баяк, Г. Я. Новика, Т. С. Лебедева, С. Кларка, Ф. Эгерера, А. Г. Дорфмана, Э. М. Пархоменко, В. Н. Кобрановой и др. проводились многочисленные исследования разрушения горных пород, под воздействием различных физических полей.

Одним из наиболее обоснованных методов разрушения пород является термический метод, однако вследствие малого коэффициента теплопроводности, разрушение горных пород данным методом ограничены трудностями быстрого прогревания пород на большую глубину.

Иной способ заключается в использовании электромагнитной СВЧ энергии. Советские ученые первыми были в изучении влияния СВЧ излучений на прочность и измельчаемость горных пород и руд. Позднее

к указанному методу разупрочнения горных пород воздействием энергии СВЧ волн проявили интерес специалисты из США, Австралии и Канады.

В 1964 году профессор Образцов А. П. и Долголаптев А. В., из лаборатории электрофизического разрушения горных пород им. А. А. Скочинского, проводили экспериментальные исследования путем разрушения крепких горных пород, а также бетона, электромагнитными направленными СВЧ волнами.

Исследования оказывающее воздействие СВЧ волн на энергоемкость измельчения минералов и руд, получили в трудах К.Т. Тажибаева и Р.М. Султаналиевой, Институт Геомеханики и Освоения Недр НАН КР [2,3,4].

Основное преимущество СВЧ волн - это возможность направленного проникновения волн в породу на большую глубину. Для того чтобы максимально эффективно воздействовать, необходимо знать о характеристике горных пород, их электрические свойства, диапазон частот и мощность СВЧ излучения. В процессе разупрочнения горных пород, особую роль играет время воздействия СВЧ волн, также остаточное напряжение в породе и коэффициент крепости. Разрушения неоднородных горных пород в которых имеются остаточные напряжения как правило происходят скачкообразно.

Один из методов по которому можно определить коэффициент крепости – это метод толчения. Он позволяет определить зависимость затрачиваемой энергии, которая расходуется на измельчение образцов горных пород, к величине вновь образовавшейся поверхности [1].

В экспериментальных исследованиях для определения вышеуказанного метода из месторождения Жамгыр нами было отобрано необходимое количество проб горной породы и минерала, для возможности получения от 20 до 25 навесок, путем дробления пробы на части 20 – 30 мм. и весом по 50 г. Для их облучения мы использовали СВЧ печь, мощность которого составляет 800 Вт, частота 2450 МГц.

Образцы облучались СВЧ импульсами в течение 1, 3, 5, 7 и 9 минут, для каждой группы по пяти образцам породы.

Для получения достоверных средних показателей крепости пород, а также удельной энергоемкости, было проведено по 5 определений, на специально изготовленном приборе ПОК (прибор определения крепости для горных пород) состоит прибор из трубчатого копра, груза 2,5 кг и измерителя фракции. Образцы дробились с помощью груза сбрасываемой с высоты 0,6 м. Далее вся истолченная мелочь, методом просеивания через сито 0,5 мм, собиралась в стакан объемомера диаметром 23 мм. для измерения высоты столба пыли в объемомере.

С целью определения крепости наносятся от 3 – 15 ударов для пород с средней и низкой прочности. Для разных пород необходимо подбирать определенное n – количество ударов, для того чтобы уровень l – пыли в объемомере была в границах 20 – 70 мм. n – ударов соизмерима работе по измельчению, а l – пропорционально новой поверхности.

Данная работа при помощи этого метода описывается уравнением:

$$A = Ghn \quad (1)$$

где G – груз 2,5 кг;

h – груз сбрасываемый с высоты 0,6 м;

n – количество ударов;

Крепость горных пород определяется формулой:

$$f_t = \frac{20n}{l} \quad (2)$$

где n – количество ударов;

l – высота пылевой фракции мм;

По формуле (2) по Протодьяконову М. М. коэффициент крепости пород вычисляется путем сравнения затраченной энергии при измельчении к вновь образованным поверхностям. После определяется

среднеарифметическая величина из полученных пяти повторных значений.

Чтобы определить удельную энергоёмкость K_{vs} измельчения горных пород и руд, К.Т. Тажибаев предложил следующую формулу [3].

$$K_{vs} = \frac{nE_i}{V} \quad (3) \quad K_{vs} = \frac{n \cdot mgh}{Sl} \quad (4)$$

где n – количество ударов; E_i – энергия одного удара; V – объем фракции; m – масса груза в свободном падении; g – ускорение свободного падения; h – груз сбрасываемый с высоты 0,6 м; s – площадь сечения объемомера; l – высота пылевой фракции мм.

В таблице 1 представлены результаты полученные в ходе проведения эксперимента по определению коэффициента крепости методом толчения, а также удельной энергоёмкости измельчения проб от продолжительности воздействия волнами СВЧ, (образцы кварц и гранит).

Таблица 1 – удельная энергоёмкость и коэффициент крепости кварца и гранита от продолжительности воздействия волнами СВЧ.

Кварц СВЧ мин.	№ проб	n - количес- во ударов;	l – высота пылевой фракции мм	Кoeff- т. креп. $f_i = \frac{20n}{l}$	V_{cm^3} – объем фракции	E_p – энерг. разруше- ния (Дж)	E_y – Удельная энерг. разр. Дж/см ³
исходное состояние	1	35	20	35	8,3	515,2	62,07
	2	35	24	29	9,96	515,2	51,72
	3	35	15	47	6,225	515,2	83,1
	4	35	21	33	8,715	515,2	59,22
	5	35	20	35	8,3	515,2	62,07
Ср. значение	-	35	20	35,8	8,3	-	63,636
Ср. кв. откл.	-	-	2,898	6,014	1,202	-	10,442
Кoeff-т. вар. %	-	-	14,49	16,79	14,49	-	16,41
СВЧ–1 мин. Охлаждение в воздухе	1	35	25	28	10,375	515,2	49,53
	2	35	16	44	6,64	515,2	78
	3	35	20	35	8,3	515,2	62,07

	4	35	22	32	9,13	515,2	56,43
	5	35	23	30	9,545	515,2	54,23
Ср. значение	-	-	21,2	33,8	8,798	-	60,052
Ср. кв. откл.	-	-	3,059	5,6	1,269	-	9,838
Коэфф-т. вар. %	-	-	14,43	16,57	14,43	-	16,38
СВЧ-3 мин. Охлаждение в воздухе	1	35	28	25	11,62	515,2	44,41
	2	35	20	35	8,3	515,2	62,07
	3	35	28	25	11,62	515,2	44,41
	4	35	23	30	9,545	515,2	54,23
	5	35	22	32	9,13	515,2	56,43
Ср. значение	-	-	24,2	29,4	10,043	-	52,31
Ср. кв. откл.	-	-	3,249	3,929	1,348	-	6,938
Коэфф-т. вар. %	-	-	13,43	13,36	13,43	-	13,26
СВЧ-5 мин. Охлаждение в воздухе	1	35	21	33	8,715	515,2	59,22
	2	35	18	39	7,47	515,2	68,97
	3	35	22	32	9,13	515,2	56,43
	4	35	17	41	7,055	515,2	73,6
	5	35	17	41	7,055	515,2	73,6
Ср. значение	-	-	19	37,2	7,885	-	66,364
Ср. кв. откл.	-	-	2,097	3,919	0,870	-	7,228
Коэфф-т. вар. %	-	-	11,04	10,53	11,04	-	10,89
СВЧ-7 мин. Охлаждение в воздухе	1	35	19	37	7,885	515,2	65,339
	2	35	24	29	9,96	515,2	51,72
	3	35	23	30	9,545	515,2	54,23
	4	35	23	30	9,545	515,2	54,23
	5	35	19	37	7,885	515,2	65,339
Ср. значение	-	-	21,6	32,6	8,964	-	58,1716
Ср. кв. откл.	-	-	2,154	3,611	0,893	-	5,923
Коэфф-т. вар. %	-	-	9,97	11,07	9,97	-	10,18
СВЧ-9 мин. Охлаждение в воздухе	1	35	25	28	10,375	515,2	49,53
	2	35	27	26	11,205	515,2	46
	3	35	22	32	9,13	515,2	56,43
	4	35	25	28	10,375	515,2	49,53
	5	35	26	27	10,79	515,2	47,7
Ср. значение	-	-	25	28,2	10,375	-	49,838
Ср. кв. откл.	-	-	1,673	2,039	0,694	-	3,548

Коэфф-т. вар. %	-	-	6,69	7,23	6,69	-	7,12
Гранит СВЧ мин. исходное состояние	1	35	11	63,63	4,56	515,2	112,9
	2	35	13	53,84	5,39	515,2	95,58
	3	35	10	70	4,15	515,2	124,14
	4	35	12	58,33	4,98	515,2	103,45
	5	35	10	70	4,15	515,2	124,14
Ср. значение	-	-	11,2	63,16	4,646	-	112,042
Ср. кв. откл.	-	-	1,166	6,387	0,482	-	11,298
Коэфф-т. вар. %	-	-	10,41	10,11	10,39	-	10,08
СВЧ-1 мин. Охлаждение в воздухе	1	35	12	58,33	4,98	515,2	103,45
	2	35	14	50	5,81	515,2	88,67
	3	35	13	53,84	5,39	515,2	95,58
	4	35	13	53,84	5,39	515,2	95,58
	5	35	13	53,84	5,39	515,2	95,58
Ср. значение	-	-	13	53,97	5,392	-	95,772
Ср. кв. откл.	-	-	0,632	2,638	0,262	-	4,679
Коэфф-т. вар. %	-	-	4,86	4,89	4,87	-	4,89
СВЧ-3 мин. Охлаждение в воздухе	1	35	11	63,63	4,56	515,2	112,9
	2	35	9	77,77	3,73	515,2	138,12
	3	35	11	63,63	4,56	515,2	112,9
	4	35	10	70	4,15	515,2	124,14
	5	35	10	70	4,15	515,2	124,14
Ср. значение	-	-	10,2	69,006	4,23	-	122,44
Ср. кв. откл.	-	-	0,748	5,226	0,310	-	9,313
Коэфф-т. вар. %	-	-	7,33	7,57	7,33	-	7,61
СВЧ-5 мин. Охлаждение в воздухе	1	35	16	43,75	6,64	515,2	77,59
	2	35	15,5	45,16	6,43	515,2	80,12
	3	35	17	41,17	7	515,2	73,6
	4	35	13	53,84	5,39	515,2	97,2
Ср. значение	-	-	15,375	45,98	6,365	-	82,127
Ср. кв. откл.	-	-	1,474	4,758	0,599	-	9,007
Коэфф-т. вар. %	-	-	9,58	10,35	9,4	-	10,97

СВЧ–7 мин. Охлаждение в воздухе	1	35	14	50	5,81	515,2	88,67
	2	35	14,5	48,27	6	515,2	85,86
	3	35	14	50	5,81	515,2	88,67
	4	35	12	58,33	4,98	515,2	103,45
	5	35	10,5	66,66	4,35	515,2	118,43
Ср. значение	-	-	13	54,652	5,39	-	97,016
Ср. кв. откл.	-	-	1,516	6,953	0,628	-	12,359
Коэфф-т. вар. %	-	-	11,66	12,72	11,66	-	12,74
СВЧ–9 мин. Охлаждение в воздухе	1	35	13,5	51,85	5,6	515,2	92
	2	35	13,5	51,85	5,6	515,2	92
	3	35	11,5	60,86	4,77	515,2	108
	4	35	11	63,63	4,56	515,2	112,98
	5	35	11,5	60,86	4,77	515,2	108
Ср. значение	-	-	12,2	57,81	5,06	-	102,596
Ср. кв. откл.	-	-	1,077	4,97	0,447	-	8,84
Коэфф-т. вар. %	-	-	8,83	8,6	8,84	-	8,62

Из данных таблицы 1 следует, что при воздействии на навески образцов кварца (размерами 2х2х2см) СВЧ волнами, при выдержке в 1 – минуту, удельная энергоемкость измельчения в сравнении с исходным значением уменьшается незначительно, тогда как при выдержке в 3 – минуты удельная энергоемкость измельчения уменьшается максимально, а при времени воздействия 5 – минут происходит незначительное увеличение. Дальнейшее увеличение времени воздействия волн СВЧ на образцы в течение 7 – 9 минут не оказывает существенного уменьшения энергоемкости.

При воздействии на образцы гранита СВЧ волнами при выдержке в 3 – минуты удельная энергоемкость измельчения увеличивается если сравнивать с исходным состоянием, это связано по – видимому формированием сжимающих остаточных напряжений, а при выдержке в 5 – минут, удельная энергоемкость уменьшается максимально. Последующее увеличение длительности СВЧ волн на пробы в течение

7 – 9 минут приводит лишь к незначительному увеличению энергоемкости.

Следовательно, из таблицы 1 мы видим, что максимальная эффективность для уменьшения энергоемкости волнами СВЧ для кварца это 3 минуты, а для гранита этот показатель составляет 5 минут.

Выводы.

1. Установлено, что при воздействии на образцы кварца СВЧ волнами в течении 1 – минуты, удельная энергоемкость измельчения снижается в сравнении с исходным состоянием незначительно, тогда как при выдержке в 3 – минуты энергоемкость измельчения уменьшается максимально, а при времени воздействия 5 – минут происходит незначительное увеличение.
2. Установлено, что при воздействии на образцы гранита СВЧ волнами при выдержке в 3 – минуты удельная энергоемкость измельчения увеличивается в сравнении с исходным состоянием, это говорит о формировании сжимающих остаточных напряжений в образце, а при 5 – минутах воздействия, энергоемкость уменьшается до максимального значения.
3. Было установлено, что наиболее оптимальным временем воздействия волнами СВЧ для максимального снижения удельной энергоемкости измельчения для кварца составляет 3 – минуты, а для гранита – 5 минут.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ильницкая Е.И. Свойства горных пород и методы их определения – М.: / Е.И. Ильницкая, Р.И., Тедер, Е.С. Ватолин, М.Ф. Кунтыш. – Москва: Недра, 1969. – 452 с.
2. Тажибаев К.Т. Напряжения, процессы деформации и динамического разрушения горных пород (том 2). В двух томах. / К.Т. Тажибаев. – Бишкек: Издательство “Алтын Принт”, 2016 – 357с.
3. Тажибаев К.Т. Способ измельчения руд и минералов. / К.Т. Тажибаев, Р.М. Султаналиева, М.С. Акматалиева, Д.К. Тажибаев. / Патент на изобретение КР № 1503 – 2012.

4. Тажибаев К.Т. Энергосберегающий способ измельчения крепких руд.
/ К.Т. Тажибаев, Р.М. Султаналиева. // Горный информационно –
аналитический бюллетень (научно –технический журнал) № 12.
Москва: Издательство «Горная книга», 2015. – С. 76-82.