

УДК 622.236
DOI: 10.36979/1694-500X-2022-22-12-197-201

РАЗУПРОЧНЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД И РУД МИКРОВОЛНОВЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

К.Т. Тажиббаев, К.М. Маканов

Аннотация. Рассматриваются способы разупрочнения горных пород и руд сверхвысокочастотными электромагнитными волнами. Показано, что при воздействии этих волн в горных породах происходят изменения структурного состояния, формирование или уменьшение остаточных напряжений, что приводит к изменению прочностных характеристик. Приведены результаты целенаправленного уменьшения энергоемкости измельчения руд путем кратковременного воздействия на них сверхвысокочастотными электромагнитными волнами.

Ключевые слова: горная порода; прочность; излучение; остаточное напряжение; измельчение; волна; энергия.

МИКРОТОЛКУНДУУ НУРЛАНУУ МЕНЕН ТОО ТЕКТЕРИН

ЖАНА КЕНДЕРДИ ЖУМШАРТУУ

К.Т. Тажиббаев, К.М. Маканов

Аннотация. Макалада жогорку жыштыктагы электромагниттик толкундар менен тоо тектерин жана рудаларды жумшартуу ыкмалары каралат. Бул толкундардын таасири астында тоо тектеринде структуралык абалдын өзгөрүшү, калдык чыңалуулардын пайда болушу же азайышы, бул бекемдик мүнөздөмөлөрүнүн өзгөрүшүнө алып келери көрсөтүлгөн. Өтө жогорку жыштыктагы электромагниттик толкундардын кыска мөөнөттүү таасири аркылуу руданы майдалоонун энергия сыйымдуулугун максаттуу кыскартуунун натыйжалары келтирилген.

Түйүндүү сөздөр: тоо тектери; бекемдик; нурлануу; калдыктуу чыңалуу; майдалоо; толкун; энергия.

STRENGTH REDUCTION OF ROCKS AND ORES BY MICROWAVE RADIATION

К.Т. Tazhibbaev, К.М. Makanov

Abstract. The cases of strength reduction of rocks and ores by microwave electromagnetic waves are considered. It is shown that under the influence of waves in rocks, changes in the structural state, the formation or reduction of residual stresses are observed, which leads to changing of strength characteristics. The results of a targeted reduction in the energy intensity of ore grinding by short-term impact super-high-frequency electromagnetic waves are given.

Keywords: rock; strength; radiation; residual stress; grinding; wave; energy.

Введение. Сверхвысокочастотные электромагнитные (СВЧ) волны в настоящее время в горном деле применяются при подготовке грунтов для их выемки в зонах вечной мерзлоты, для предварительного разупрочнения и эффективного измельчения полезных минералов и руд, повышения извлечения металлов из руды. Экспериментальные исследования, проведенные в ряде научных учреждениях России, например, в Институте физико-технических проблем Севера, Институте горного дела Севера показали, что при кратковременных (5–10 минут) СВЧ-облучениях мерзлых грунтов достигается оттаивание на глубину 0,3–0,8 м. Это позволило предположить, что частота и время облучения в значительной мере влияет на процесс оттаивания грунта.

В технологической цепочке рудоподготовки наиболее энергозатратным процессом является измельчение, поэтому для наиболее полного извлечения полезных металлов из руд особое внимание

уделяется разрушению крепких руд, предварительно воздействуя на них физическими полями. Наиболее эффективным методом воздействия является метод воздействия микроволновой энергией, то есть энергией СВЧ-волн.

Методы исследований. Под действием микроволновой энергии излучение поглощается горной породой и превращается в тепловую энергию, а за счет нагрева прочность породы снижается [1].

При действии СВЧ-волн, в соответствии с тепловыми свойствами горной породы, температура в породе повышается на dT :

$$dT = \frac{Pt}{c\rho}, \quad (1),$$

где P – мощность СВЧ поля, поглощаемая единицей объема горной породы; t – время воздействие СВЧ поля; c – удельная теплоемкость горной породы; ρ – плотность горной породы.

В процессе микроволнового излучения за счет изменения температуры существенно изменяется структурное состояние, даже вещественный состав руды, например, в результате испарения, выгорания составляющих соединений, разгружаются или формируются остаточные напряжения, в результате чего значительно изменяется прочность. В некоторых случаях в результате действия термических напряжений происходит разрушение достаточно крепких руд и горных пород. При охлаждении раскаленных горных пород в воде формируются сжимающие и, преимущественно, растягивающие остаточные напряжения, которые в ряде случаев приводят к динамическому трещинообразованию и разрушению.

А.Н. Москалевым, О.В. Явтушенко, В.И. Лойк, В.К. Коробской, А.П. Образцовым и Л.М. Блиновым в Институте геотехнической механики (ИГТМ) (г. Днепропетровск) проводились экспериментальные работы по исследованию влияния СВЧ-волн на прочность горных пород, в результате был предложен способ их разрушения [2]. Данное изобретение относится к способу разрушения горных пород облучением их электромагнитными волнами СВЧ-диапазона, основанный на том, что волны, генерируемые несколькими источниками малой мощности 24 Вт, направляют вглубь горной породы, в результате чего под действием термического напряжения руда или горная порода разрушается. При использовании предложенного способа разрушения горных пород энергией микроволн сначала породу облучают волнами меньшей мощности 150–300 Вт/см² от генератора (1) до образования теплового следа, а затем волнами большей мощности – 300–5000 Вт/см² от генератора (2) в перпендикулярном направлении (рисунок 1). Сначала микроволновое облучение создает в горной породе (3) нагретую зону (4) с максимальным значением диэлектрической проницаемости. Излучаемая энергия генератора (2) поглощается, в основном, в зоне пересечения облучений (5), и в этой зоне при резком повышении температуры происходит разрушение горной породы.

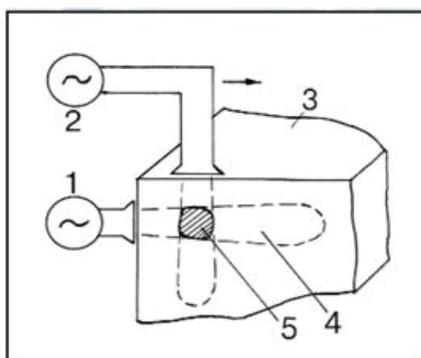


Рисунок 1 – Разупрочнение каналов в горных породах воздействием двух генераторов СВЧ-волн

Изменяя положение антенны генератора (2) над поверхностью вдоль нагретой зоны (4), можно создать канал интенсивного трещинообразования. Предложенным способом достигнуто разупрочнение таких пород как кристаллические сланцы, песчаники, амфиболиты, граниты и др. При частоте 2,4 ГГц объем разрушаемой породы составлял 180–250 см³ в секунду [2]. По мнению авторов разработки, предлагаемый способ гораздо экономичнее существующих.

Механическое измельчение руд при обогащении является дорогостоящим и энергоемким процессом. Коэффициент полезного действия при механическом разрушении горных пород и при измельчении руд составляет всего 1–2 %, а остальные 98 % энергии, приложенной для разрушения руды, рассеивается в виде диссипативных потерь (энергия теплоты, колебаний окружающей среды и звука). Ежегодно на измельчение тратятся порядка 2 млрд долл. США при среднем мировом объеме переработки руд. В связи с этим, новые эффективные способы разупрочнения или разрушения крепких руд, с точки зрения экономической выгоды, представляют большой практический интерес.

Наиболее перспективным способом разупрочнения, из наиболее известных, является способ, использующий энергию СВЧ-электромагнитного поля. На наш взгляд, главным образом, неравномерное воздействие СВЧ-волн на многокомпонентную руду приводит к образованию микротрещин, к появлению термомеханических напряжений, а также формированию остаточных напряжений, которые приводят к изменению прочности горной породы [3].

Степень эффективности влияния СВЧ-волн¹¹ на прочность различных горных пород зависит от их тепловых свойств и частоты электромагнитного поля. Чтобы определить эффективность воздействия СВЧ-излучения на горные породы, необходимо знать механические и электромагнитные свойства горных пород. Горные породы являются диэлектриками, и оцениваются диэлектрической проницаемостью ϵ . Диэлектрики, находящиеся в СВЧ-электромагнитном поле, характеризуются углом диэлектрических потерь δ или $tg\delta$. Параметр $tg\delta$ определяет количество электрической энергии, которая превращается в горной породе в тепловую энергию. Поляризация диэлектрика сопровождается поглощением энергии электрического СВЧ-поля, выделяемой в виде тепла в объеме горной породы в зоне облучения. Это происходит за счет трения соседних полярных молекул, и чем выше частота, тем интенсивнее происходит нагрев. Например, в породах, таких как песчаник, из-за присутствия влаги значительно увеличивается поглощение СВЧ-энергии [4].

Результаты и обсуждения. При проведении экспериментальных и теоретических исследований влияния СВЧ-волн на энергоёмкость измельчения¹⁸ руд К.Т. Тажибаевым и Р.М. Султаналиевой была обоснована формула, которая позволяет определить значения удельной энергоёмкости измельчения руд, и их изменения от продолжительности воздействия СВЧ-волн и температуры³ [5]. Эффективность разупрочнения неоднородных руд при помощи СВЧ-волн заключается в интенсивности передачи энергии электромагнитных волн в виде неоднородного теплового воздействия на твердые минералы за относительно короткое время (минуты), что обуславливает изменение показателей прочности и структурного состояния⁴⁴ горных пород. В Институте «Уралмеханобр» и Уральском государственном техническом университете предложены способы измельчения цинка из доменных и мартеновских шламов, использующие предварительное микроволновое воздействие. Этим методом было извлечено до 85 % цинка при наличии в шламе 9–10 % твердого углерода, путем нагрева до 1200²⁷ С. Образцы из месторождений Мурунтау и Кокпатас испытывали на СВЧ-стенде в Навоийском горно-металлургическом комбинате. В ходе облучения энергия поглощалась неравномерно, максимальное поглощение энергии наступало через 1–1,5 мин облучения, далее наблюдалось резкое снижение поглощения. Образцы после окончания облучения становились хрупкими и легко разрушались в руках. Результаты исследований показали, что разные минералы при СВЧ-облучении в течение 3–5 мин нагревались от 400 до 860 °С и разрушались [6].

Специалисты из АО «Ведущий научно-исследовательский институт химической технологии, АО ВНИИХТ», входящий в Госкорпорацию «Росатом» и НПП «Исток» им. А.И. Шокина (входит в Госкорпорацию «Ростех»), разработали технологию измельчения минерального и техногенного сырья

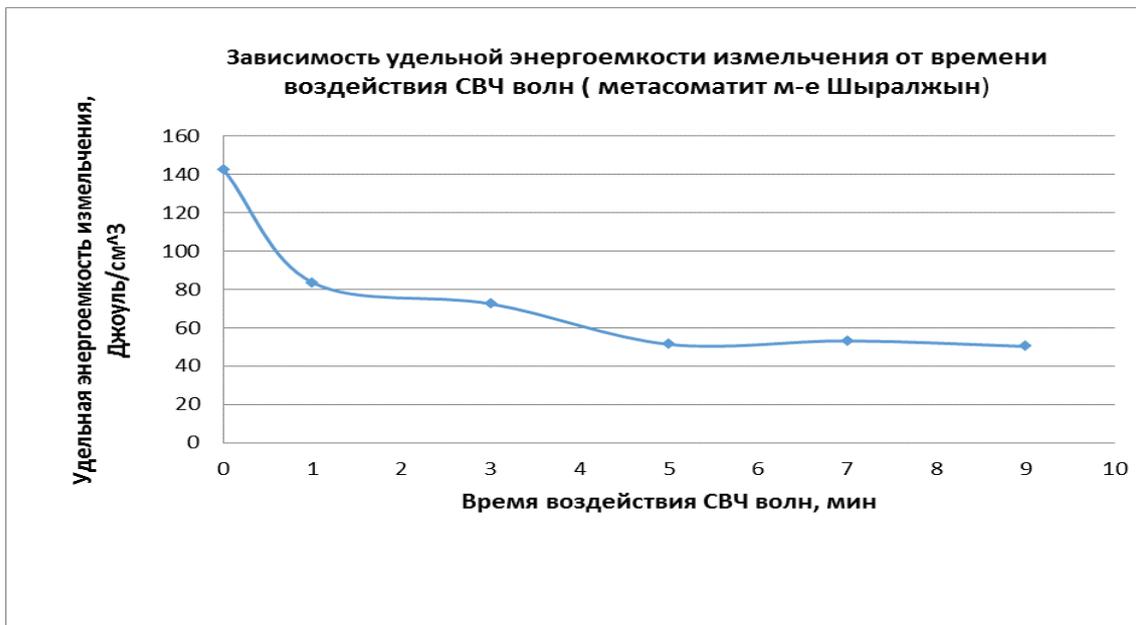


Рисунок 2 – График изменения показателя энергоёмкости измельчения от времени воздействия СВЧ-волн (метасоматит, Шыралжын)

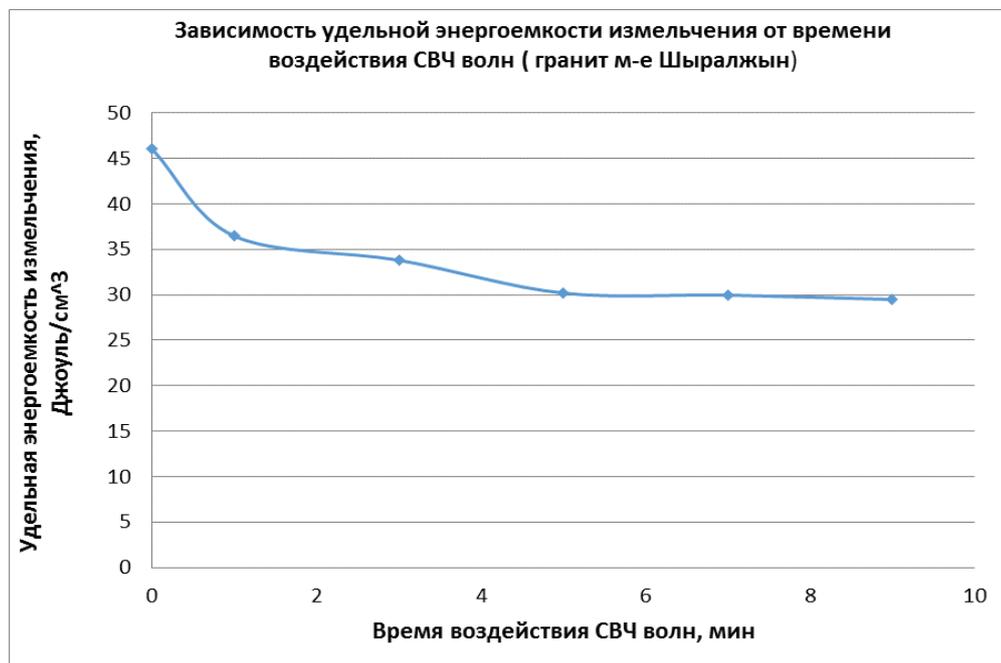


Рисунок 3 – График изменения показателя энергоёмкости измельчения от времени воздействия СВЧ-волн (гранит, Шыралжын)

при помощи СВЧ-излучений. Технология предполагает использование сверхвысокочастотной энергии для снижения прочности и энергоёмкости измельчения минерального сырья при механическом воздействии [7]. Данная технология применяется в Ковдорском ГОКе в Мурманской области, на предприятии, которое занимается добычей концентрата апатитов (апатит – группа минералов класса фосфатов). Это предприятие является единственным в мире производителем бадделейтового концентрата (бадделейт – минерал подкласса простых окислов, простой оксид циркония).

Результаты экспериментальных исследований влияния времени воздействия СВЧ-волн на показатель энергоёмкости измельчения руд и горных пород¹⁸ показали, что при СВЧ-облучении метасоматита золоторудного месторождения Шыралджын, энергоёмкость измельчения уменьшается в 2,5 раза (рисунок 2) по сравнению с исходным состоянием. Тогда как при облучении гранита золоторудного месторождения Шыралджын, не содержащего металлические минералы, уменьшение энергоёмкости измельчения составляет всего 33 % (рисунок 3).

Выводы. Доказано, что разноуровневые изменения показателей энергоёмкости измельчения горных пород и руд¹⁴ связаны с разными тепловыми свойствами минералов, входящих в горную породу или руду. В металлосодержащих рудах происходит значительное уменьшение энергоёмкости измельчения¹⁸ после облучения СВЧ-волнами. Максимальное уменьшение энергоёмкости измельчения при СВЧ-облучении происходит при воздействии в течение 3–5 минут. Дальнейшее же увеличение времени воздействия СВЧ-волн¹⁸ не приводит к существенному уменьшению энергоёмкости измельчения.

Поступила: 22.08.22; рецензирована: 05.09.22; принята: 08.09.22.

Литература

1. Рахманкулов Д.Л. Опыт применения энергии микроволн в горном деле / Д.Л. Рахманкулов, С.Ю. Шавшукова., И.Н. Вихарева, Р.Р. Чанышев // Башкирский химический журнал. 2008. Том 15. № 2. Уфа. С. 53–55.
2. Москалев А.Н. Способ разрушения горных пород электромагнитными волнами / А.Н. Москалев, О.В. Явтушенко, В.И. Лойк, В.К. Коробской, А.П. Герасименко, Л.М. Блинов // Авт. св. СССР № 724731, кл. E21C 37/18. М., 1977.
3. Тажибаев К.Т. Энергосберегающий способ измельчения крепких руд / К.Т., Тажибаев, Р.М. Султаналиева // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № 12. М.: Изд-во «Горная книга». С. 76–82.
4. Блинов Л.М. О возможности создания технологии «взрывного» разрушения массива горных пород-диэлектриков направленным электромагнитным потоком концентрированной энергии СВЧ / Л.М. Блинов, А.П., Герасименко Ю.В. Гуляев, А.В. Долголаптев, В.А. Черепенин // Журнал радиоэлектроники. 2019. № 2. С. 7–8.
5. Тажибаев К.Т. Результаты аналитических исследований изменения энергоёмкости измельчения руд от длительности воздействия на них СВЧ-волн / К.Т. Тажибаев, Р.М. Султаналиева // Вестник КРСУ. 2015. Том 15. № 5. С. 129–130.
6. Рахманкулов Д.Л. Применение микроволнового излучения металлов из промышленных отходов / Д.Л. Рахманкулов, С.Ю. Шавшукова, И.Н. Вихарева, Р.Р. Чанышев // Башкирский химический журнал. 2008. Том 15. № 2.
7. «ВНИИХТ» разработал технологию извлечения редкоземельных металлов с помощью микроволнового излучения // Редкие Земли. М., 2018. 1 июня. URL: <http://rareearth.ru/ru/pub/20180601/03957.html> (дата обращения: 14.08.2022).