

УДК 621. 374

Разрушение волластонитовой руды

Destruction wollastonit ores

Нусупбеков Б.Р., Шаймерденова К.М., Рахмалина С.Т.

Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова (E-mail: bek_nr1963@mail.ru)

Қазіргі кезде волластонит кенін өндеудегі технологиялар жаңа талаптарға сай келмейді, көп энергия шығынын қажет етеді, кеннен таза волластонитті өңдемейді және оның экологиялық жағынан эффективтілігі төмен. Бұл өндеу әдісі перспективті, үнемді, экологиялық таза және минералды жақсы ұсақтайды. Сұйық ортадағы электр разряды көптеген отандық және шетелдік технологияларда негізгі механизм болып табылады. Сұйықта пайда болатын электр разряды құбылысында электр энергия соққы толқындар қысымының энергиясына айналады.

Technologies existing nowadays on processing wollastonit ores do not meet modern requirements, demand the big expenses of energy, do not provide full development pure wollastonit from ore, are not effective in respect of ecology and economy of labour input. The given way of crushing is perspective, economic, ecologically pure, is easily built in any technological chain and provides high degree of crushing of a mineral. The electric category in a liquid is the basic operating mechanism in many domestic and foreign technologies. From all difficult complex of the phenomena arising at the electric category in a liquid, direct transformation of electric energy in energy of pressure of shock waves is used.

В последние десятилетия стало прогрессирующим ухудшение качества добываемых руд черных и цветных металлов, горно-химического сырья, что привело к снижению объемов добычи полезных ископаемых, к вовлечению в добычу и переработку труднообогатимого сырья, к росту стоимости обогащения полезных ископаемых, увеличению энергопотребления.

В этих условиях повышение полноты и комплексности обогащения минерального сырья, создание малоотходных, экологически безопасных энергосберегающих технологий приобретают первостепенное значение и определяют современную стратегию оценки месторождений, технологии их добычи и переработки. Необходима скорейшая организация добычи и обогащения минералов на месторождениях Казахстана. Применение измельченного волластонита в самых различных областях позволит получить новую продукцию с рядом ценных свойств и будет способствовать техническому прогрессу в ряде отраслей промышленности. Также дефицит природных минералов в европейских странах позволяет рассматривать минерал волластонит как предмет экспорта.

Рациональное и эффективное использование минеральных ресурсов Республики Казахстан требует создания новых, экологически чистых технологий, что является главной задачей [1].

Впервые разработана технология дробления волластонитовой руды электрогидравлическим способом; собрана экспериментальная установка, изготовлена камера для дробления минерала; в проведенных испытаниях установлена зависимость степени разрушения фракции волластонитовой руды от энергии разряда, параметров конструкции электроимпульсной установки, частоты подаваемых импульсов. Указаны оптимальные области изменения параметров; показано, что электрогидравлическое воздействие в обычном режиме работы позволяет повысить эффективность дробления минерала волластонита до 20 % [2].

Разрядно-импульсная технология, базирующаяся на использовании электрогидравлического эффекта в жидкости, находит широкое применение в таких технологических процессах, как дробление

минеральных сред, очистка отливок, штамповка металлов, закрепление труб в трубных досках теплообменных аппаратов, обработка промышленных отходов с целью извлечения ценных компонентов фосфора из фосфорного шлама и отделения примесей от различного рода измельченных материалов [3].

Для проведения лабораторных исследований в лаборатории электрогидродинамики кафедры инженерной теплофизики им. профессора Ж.С.Акылбаева КарГУ им. Е.А.Букетова был собран универсальный экспериментальный стенд. Контрольно-измерительная система установки позволяет определять количественные значения силы тока, напряжения в разрядной цепи и возникающем при электрическом разряде импульсе давления.

Электрогидроимпульсная установка выполнена в виде конструктивных агрегатов (рис. 1), состоящих из блока управления, блока накопителей энергии, блока защиты и генератора импульсных напряжений. При этом блок управления обеспечивает включение рабочего режима, аварийного автоматического отключения всей системы во время работы, регулировку частоты разряда и контроль всех основных параметров электрогидроимпульсной установки.

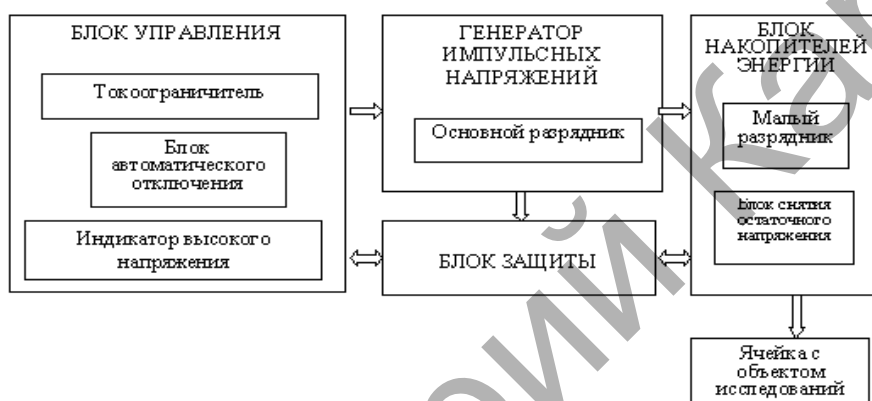


Рис. 1. Блок-схема электрогидроимпульсной установки

Генератор импульсных напряжений преобразует переменное (регулируемое) напряжение на входе в постоянное высокое напряжение (до 60 кВ) на выходе и поступает параллельно на блок накопителей энергии. Для обеспечения безопасности персонала и сохранности электрогидроимпульсной установки был сконструирован и собран блок защиты.

При осуществлении внутри объема парожидкостной смеси, находящейся в закрытой емкости, специально сформированного электрогидроимпульсного разряда вокруг зоны его образования возникают сверхвысокие гидравлические давления. Среда, получив ускорение от расширяющегося с большой скоростью канала разряда, перемещается от него во все стороны, образуя на месте разряда значительную по величине кавитационную полость, вызывающую основной гидравлический удар. Затем полость с большой скоростью смыкается, создавая вторичный кавитационный гидравлический удар. При образовании кавитационной полости от границ этой полости отрывается и уходит в жидкость ударная волна. При осуществлении последовательного ряда импульсных разрядов в среде каждый последующий электрогидравлический удар возникает только после того, как кавитационная полость от предыдущего разряда успеет захлопнуться, что и определяет возможную максимальную частоту следования разрядов. Используя найденную закономерность выделения энергии подводного искрового разряда в пузырьковой жидкости, можно разработать технологию и установку для дробления и измельчения волластонитовой руды природного происхождения и в дальнейшем увеличить выход готовой продукции [4].

Опыты проводились при различных значениях емкости конденсаторной батареи, энергии разряда на коммутирующем устройстве, изменялась также частота следования импульсов ЭГЭ. Подводимое значение напряжения на коммутирующее устройство регулировалось от 10 до 40 кВ, а количество импульсов варьировалось в диапазоне от 22 до 88 разрядов в минуту.

На рисунке 2 представлены результаты лабораторных испытаний, проведенных при различных значениях длины разрядного промежутка на коммутирующем устройстве с волластонитовой рудой и емкостях конденсаторной батареи (0,3; 0,5 и 1 мкФ). Были получены зависимости степени измельче-

ния руды от электрических и геометрических параметров установки, где K — доля фракций от общего объема, l_p — длина разрядного промежутка на коммутирующем устройстве.

Из приведенных графиков можно сделать вывод о том, что при увеличении межэлектродного расстояния частицы меньшим диаметром дробятся интенсивнее и наблюдается общая закономерность электрогидравлического эффекта. Самым оптимальным значением ёмкости конденсаторной батареи является 0,5 мкФ и диаметр фракций, подвергающийся наиболее интенсивному разрушению, равен $d_{фр} = 5$ мм.

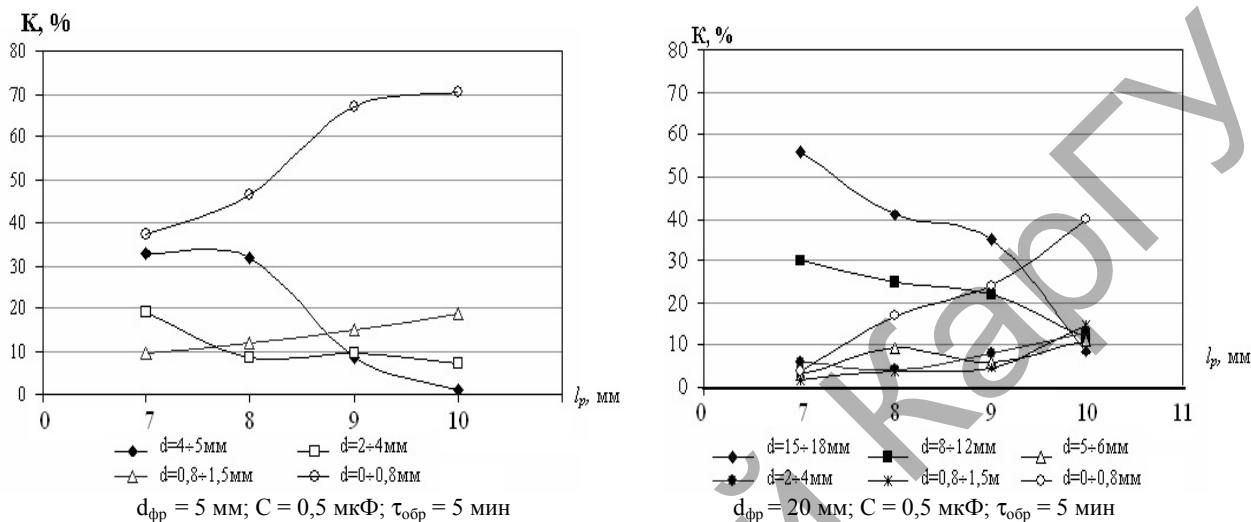


Рис. 2. Графики зависимости степени разрушения различной фракции волластонита от длины разрядного промежутка при фиксированных значениях емкости конденсаторной батареи

Задачей дальнейших исследований стало определение влияния частоты следований импульсов на дробление и измельчение. На рисунках 3а, б приведены зависимости степени измельчения руды от частоты следования импульсов при двух значениях напряжения на коммутирующем устройстве.

С ростом частоты следования импульсов устанавливается равномерное дробление руды. Анализ степени дисперсности продуктов измельчения показал, что оптимальная частота следования импульсов подаваемых разрядов варьируется от 4 Гц до 15 Гц.

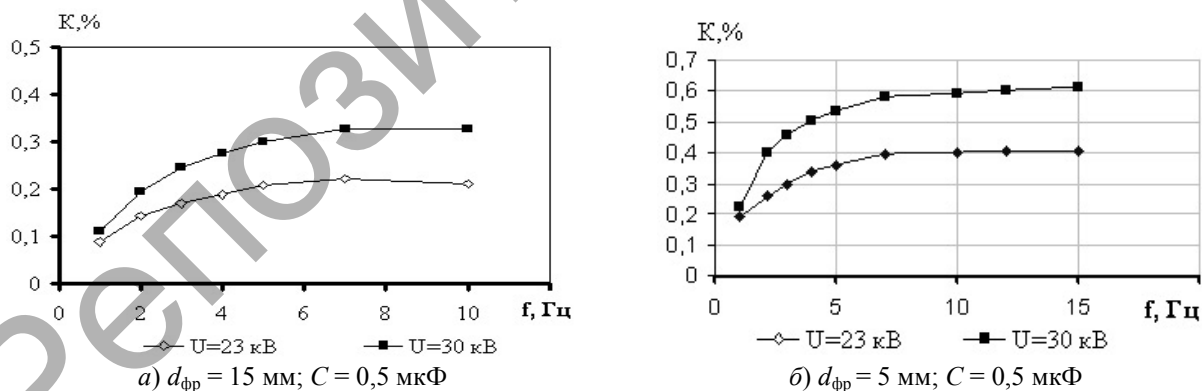


Рис. 3. График зависимости измельчения волластонитовой руды от частоты следования импульсов ЭГЭ при постоянных напряжениях на коммутирующем устройстве

На основании этого нами разработан и создан рабочий узел электрогидроимпульсной установки для дробления и измельчения волластонитовой руды с парожидкостным генератором (рис. 4). Установка состоит из загрузочной горловины 1, барабанной мельницы 2, электродов 3 и 4, высоковольтного накопителя энергии 5, барабанного грохота 6, сетки 7, сборника 8, лифтеров 9, решетки 10, сборника 11, коллектора 12, парожидкостного генератора 13, парожидкостного тракта 14, датчика температуры 15 и прибора для регистрации температуры 16; обрабатываемая руда 17; паровые пузырьки 18.

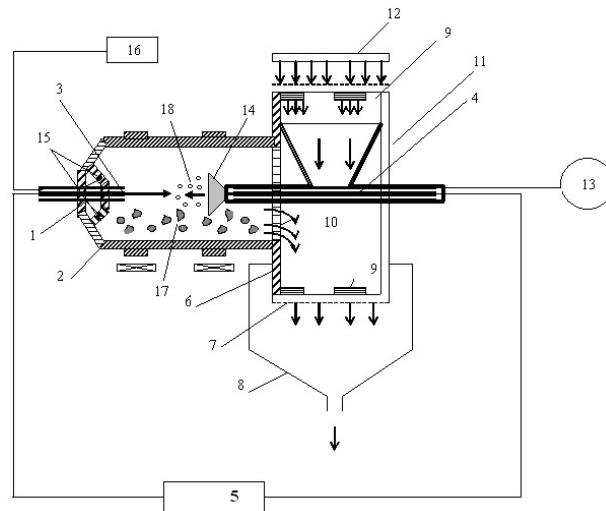


Рис. 4. Схема электрогидравлического способа измельчения волластонитовой руды

Волластонит (крупность частиц $8\div 10$ мм) через загрузочную горловину поступает в барабанную мельницу, внутри которой установлены электроды, соединенные с высоковольтным накопителем энергии и подвергающие его воздействиям ударной волны, которая возникает при электрическом разряде в среде, где осуществляется процесс измельчения. К рабочему электроду подводится удельная энергия, равная $2,5 \times 10^4$ Дж/м, с частотой следования разряда от 3 до 7 Гц до возникновения электрического разряда между электродами в течение 5 минут. С целью повышения производительности и снижения энергоемкости процесса измельчения из парожидкостного генератора в барабанную мельницу через парожидкостный тракт подаются пузырьки с объемной концентрацией $0,25\div 0,5$ %. Однако тепловые процессы, возникающие на рабочих электродах при подводном искровом разряде, становятся причиной эрозии электродов. Поэтому нами рассмотрены и изучены процессы теплообмена поверхности для оптимальной работы установки, так как эффективное измельчение минерала в данной среде обеспечивается электроимпульсным способом при температуре $45\div 85$ °С. Воздействия, осуществляемые при получении энергии ударных волн с паровыми пузырьками определенной концентрации, приводят к дроблению и измельчению волластонитовой руды. Измельченный продукт через решетку поступает в барабанный грохот, оснащенный сеткой. После классификации на грохоте готовый продукт крупностью 0,5 мм попадает в сборник и подается в цикл обогащения. Циркуляционный (надрешетный) продукт крупностью $2\div 0,5$ мм лифтерами при совместном с мельницей вращении барабанного грохота поднимается в верхнюю точку и самотёком из коллектора сбрасывается в сборник. Полученная по предлагаемому способу измельченная волластонитовая руда может быть использована в асбоцементной, резинотехнической, бумажной, керамической и других отраслях промышленности [5].

В дальнейшем нами получены результаты структурного анализа с помощью электронного микроскопа, которые позволяют определить чистоту волластонитного образца после электрогидроимпульсной обработки. По результатам изучения структуры и гранулометрического состава, химического состава, энергетических спектров имеется возможность более точного определения степени чистоты природных материалов, а также наличия имеющихся примесей на атомарном уровне. Данные о количестве, составе и свойствах примесей позволяют оптимизировать параметры электрогидроимпульсной установки измельчения и дробления волластонита. В процессе измельчения примеси оголяются и появляется возможность их удаления от основной массы чистого минерала физико-химическими методами. В результате повышается степень чистоты волластонитовой руды, что соответствует требованиям научной значимости работы [6]. Как видно из таблицы 1, фазовый состав волластонита не включает посторонних примесей.

Полученные значения массовых концентраций элементов волластонита использованы для расчета их стехиометрии (табл. 2) в анализируемом соединении. Значения массовых концентраций G , %, элементов взяты из таблицы 1. Атомные массы элементов M_i известны из периодической системы элементов. Синтезированные соединения соответствуют своей единичной формуле, которые подтверждены различными физико-химическими методами.

Результаты количественного микроанализа природного волластонита К–Ca–Si–O (1)

Элемент	кэВ	G, %	At, %	ε, %
O K_{α}	0,525	48,12	67,41	0,86
Si K_{α}	1,739	21,42	17,09	0,11
K K_{α}	3,312	6,81	3,90	0,14
Ca L_{α}	3,690	20,74	11,60	0,17
Всего, %		97,08	100	1,28

Результаты расчета стехиометрии минерала волластонита

Соединения	k_1	k_2	k_3	k_4	Химическая формула по данным анализа
К–Ca–Si–O (1)	1	2,99	4,38	17,25	$KCa_{2,99}Si_{4,38}O_{17,25}$
К–Ca–Si–O (2)	1	1,79	3,41	12,18	$KCa_{1,79}Si_{3,41}O_{12,18}$
Ca–Si–C–O	1	1,44	3,51	12,13	$CaSi_{1,44}C_{3,51}O_{12,13}$
Si–Ca–C–O	1	1,01	1,26	6,21	$SiCa_{1,01}C_{1,26}O_{6,21}$

В дальнейшем для полного и окончательного подтверждения экспериментальных результатов дополнительно получены ИК–спектры поглощения исследуемых образцов с помощью спектрометра «Nicolet 380 Thermo Electron». Данные результаты полностью подтверждают химический состав волластонитовой руды [7].

Представляется целесообразным продолжить исследования по применению волластонита в первую очередь в следующих отраслях промышленности Республики Казахстан: производство красок, пластмасс и отделочных материалов; выпуск изделий на асбестоцементной основе; производство керамических изоляционных пеноматериалов различного назначения; литейное производство; производство бумаги.

Проведение этих исследований и внедрение их результатов на предприятиях будут способствовать техническому прогрессу в промышленности.

Предлагаемый способ электрогидравлической обработки волластонитовой руды позволяет быстро и с минимальными затратами получить наночастицы определенных размеров, одновременно улучшить санитарно-гигиенические условия работы и существенно снизить загрязнение окружающей среды [8].

Технологический процесс электрогидроимпульсной технологии легко поддается автоматизации, для обслуживания не требуется большого числа высококвалифицированных рабочих.

Таким образом, электроимпульсный способ разрушения характеризуется избирательностью разрушения по крупности продукта. Так, в первую очередь разрушаются более крупные куски, что хорошо согласуется с физическими основами электроимпульсного разрушения, так как электрическая прочность крупного куска, прекращающего рабочий промежуток, ниже, чем электрическая прочность многослойных систем.

References

1. National Prepatent RK for the invention № 17856 from 8/15/2006 (bul. № 10 from 10/16/2006). An electrohydraulic way of crushing wollastonit ores. Authors K.Kusainov, B.R.Nusupbekov, A.S.Nygymanova, A.Murzagalieva.
2. Chernoglazova T.V. Vollastonit and its application in the industry. — Almaty: JSC «Alash», 1999.
3. Krivitsky E.V. Dynamics of electroexplosion in a liquid. — Kiev: Naukova Dumka, 1986. — 205 p.
4. Kurets V.I., Usov A.F., Tsukerman V.A. Electropulse decomposition of materials. — Apatity: The Kola centre of science of the Russian Academy of Sciences, 2002. — 324 p.
5. Yutkin L.A. Electrohydraulic effect and its application in the industry. — L.: Mechanical engineering, Leningrad branch, 1986. — 253 p.
6. Kusainov K., Nusupbekov B.R., Shajmerdenova G.M., Alpysova G.K. Crushing of natural wollastonit // Vestnik of KarSU. Physics series. — 2009. — № 2 (54).
7. Nusupbekov B.R., Shajmerdenova G.M., Ajtpaeva Z.K. Technique of selective destruction ores // The Bulletin of development of science and education. — 2009. — № 4. — С. 16–19.
8. Shiganova E.V., Giros A.M., Chernoglazova T.V. Vollastonit concentrates for various industries. — Almaty: JSC «Alash», 1999.