

УДК: 622.7:549.211

Ю.А. Подкаменный, Э.А. Кадырбекова
Политехнический институт (ф) СВФУ, г. Мирный

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В ПРОЦЕССАХ ОБОГАЩЕНИЯ РУДНОГО И НЕРУДНОГО СЫРЬЯ

Рассмотрены особенности применения ультразвуковых воздействий в процессах обогащения рудного и нерудного сырья. Показано, что возникающие при прохождении ультразвуковой волны через жидкость микропотоки жидкости воздействуют на граничный слой вблизи зерен. При этом уменьшается сопротивление диффузионному и конвективному переносу реагирующих веществ и увеличивается скорость химических процессов.

Ключевые слова: алмаз, кимберлит, кавитация, ультразвук, диспергирование.

DOI: 10.17072/chirvinsky.2021.172

Как известно, применение процесса ультразвукового диспергирования обеспечивает получение суспензий твердых веществ в жидкой фазе. При этом происходит переход твердого вещества (поликристаллического или агрегативного) в дисперсное состояние [1].

Наиболее эффективно процесс диспергирования осуществляется при воздействии ультразвукового поля на агрегаты и скопления частиц, связанных между собой силами слипания и представленных в первую очередь зернами кимберлита. Главное достоинство ультразвуковых технологий заключается в более быстром уменьшении дисперсности (на несколько порядков), чем при традиционном механическом измельчении [1]. Применение ультразвуковых технологий при переработке алмазосодержащего сырья является весьма перспективным подходом в силу важности задачи очистки поверхности кристаллов алмазов на различных стадиях подготовки и обогащения [2].

Главные механизмы процесса ультразвукового диспергирования - ударные волны и кумулятивные струи, возникающие на поверхности частичек и распространяющиеся по трещинам и границам соединения агломератов [3].

Основными факторами, влияющими на процесс диспергирования, являются механические свойства и структура обрабатываемого материала, физико-механические и химические свойства жидкой среды, соотношение

между статическим и звуковым давлением в обрабатываемом объеме, температура среды, частота и мощность ультразвукового поля, продолжительность обработки.

Механические свойства и структура обрабатываемого материала включают твердость, состояние поверхности, геометрическую форму. Чем выше твердость, тем труднее разрушается материал [3].

К важным физико-механическим свойствам жидкости относят акустическое сопротивление, вязкость, кавитационную прочность и т.д. Важна скорость потоков рабочей жидкости в объеме, которая должна обеспечить равномерное распределение материала в рабочей зоне [3].

Важным параметром является температура обрабатываемой среды, от которой зависит возможность обеспечения достижения максимального количества кавитационных пузырьков.

Количество энергии, запасаемое в кавитационном пузырьке, пропорционально частоте ультразвукового воздействия. Для обеспечения того же эффекта (или той же интенсивности воздействия) при увеличении частоты в два раза можно увеличить мощность в четыре раза.

Интенсивность ультразвукового давления в процессах ультразвукового диспергирования как правило превышает 5-7 Вт/см². Увеличение интенсивности свыше 25-30 Вт/см² препятствует выходу акустической энергии и снижает эффективность диспергирования.

В работах [3] показано, что возникающие при прохождении ультразвуковой волны через жидкость микропотоки жидкости воздействуют на граничный слой вблизи зерен. При этом уменьшается сопротивление диффузионному и конвективному переносу реагирующих веществ и увеличивается скорость химических процессов. Создаваемый при прохождении ультразвуковых волн в среде т.н. «ультразвуковой ветер» создает мощные микропотоки от захлопывающихся кавитационных пузырьков и интенсифицирует перемешивание, что приводит к интенсивному трению твердых частиц, движущихся в жидкости, и, при большой мощности, к их сверхтонкому измельчению [3].

В ультразвуковой волне одновременно могут возникать электрические разряды в кавитационных пузырьках, ударные волны, достигаются высокие температуры в очень маленьких объемах обрабатываемых веществ.

Ультразвуковые технологии могут быть реализованы при помощи многофункциональных ультразвуковых аппаратов, которые способны обеспечить ультразвуковое поле с интенсивностью 3 - 20 Вт/см² и амплитудой колебаний от 30 до 70 мкм [4].

Ультразвуковой генератор представляет собой систему узлов и элементов, показанную на рис. 1.

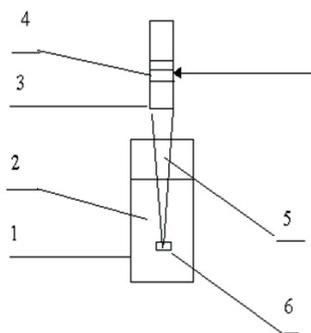


Рис. 1. Структурная схема ультразвукового генератора.

1 - емкость; 2 - обрабатываемый материал; 3. - ультразвуковая излучающая система; 4 - преобразователь электрических колебаний; 5 - волноводная система, концентрирующая ультразвуковые колебания; 6 - рабочий инструмент для ввода ультразвуковых колебаний в обрабатываемые среды; 7 - электрический генератор; 8 - система контроля и автоматизации.

Ультразвуковые колебания с высокой интенсивностью в технологических аппаратах создаются, как правило, при помощи магнитострикционных и пьезоэлектрических преобразователей. Магнитострикционные преобразователи способны обеспечить наибольшие мощности ультразвукового излучения. При этом требуются применение их принудительного водяного охлаждения. При разработке силовых ультразвуковых генераторов необходимо увеличение амплитуды колебаний рабочего инструмента не менее, чем в 10 раз, что обеспечивается с помощью специального концентратора. Для этого используют колебательные системы с четвертьволновыми преобразователем и концентратором [2].

Основные преимущества ультразвуковых воздействий состоят в скорости и высоком качестве, механизации трудоёмких операций, исключении дорогостоящих токсичных и взрывоопасных растворителей, возможности удаления загрязнений, не поддающихся удалению другими методами. В общем случае влияние различных факторов ультразвукового поля на процесс очистки можно представить в виде схемы [3], изображенной на рис. 2.

Наибольшее разрушение поверхностных структур под действием ультразвука происходит благодаря кавитации и акустическим течениям. Их интенсивность зависит от частоты и интенсивности колебаний, физических свойств жидкости и от ее температуры. Деструктуризация и последующее разрушение, отделение и растворение пленки загрязнений при ультразвуковой очистке происходит благодаря общему действию факторов, обусловленных наложением акустического поля [2].

Известны три основных механизма воздействия на поверхностные пленки кавитационными пузырьками: отслаивание, гидродинамическая очистка и эмульгирование. В первом случае пульсирующий



Рис. 2. Механизмы ускорения процессов в гетерогенных средах при ультразвуковых воздействиях

пузырек возникает на поверхности зерна и на внутренней поверхности отслоившейся пленки (рис. 3). При интенсивных колебаниях размера пузырька на пленку действуют силы, отрывающие ее от поверхности [3].

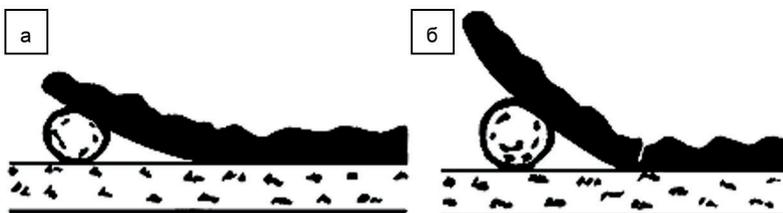


Рис. 3. Схема отслоения пленки с твердой поверхности, где: а) – образование пузырька у поверхности; б) – отрыв части пленки от поверхности при пульсации пузырька

Во втором случае пульсирующий кавитационный пузырек, перемещаясь по твердой поверхности, оставляет в пленке расчищенные участки, располагающиеся на траектории движения пузырька. Разрушающее действие кавитации можно объяснить гидродинамическими воздействиями жидкости на поверхность материала.

В третьем случае газовые пузырьки, возникающие в толще пленки пульсируют под действием звукового поля и акустических течений, что также приводит к разрушению пленки [2].

Важным параметром, определяющим эффективность очистки, является интенсивность ультразвука. Выбор интенсивности поля определяется свойствами очищаемой поверхности и характера загрязнения. В зависимости от вида загрязнений используют следующие значения интенсивности [1]: до $1\text{--}3 \text{ Вт/см}^2$ – для легкоудаляемых загрязнений (масляных и жировых.); от 3 до 10 Вт/см^2 – для загрязнений тонкодисперсных паст и смазок, свыше 10 Вт/см^2 – для трудноудаляемых лаковых пленок, травильных шламов и т.п. Интенсивность ультразвуковых колебаний, используемых при очистке твердых поверхностей в водных растворах, обычно составляет $3\text{--}7 \text{ Вт/см}^2$ [3].

Важным при ультразвуковой обработке является ультразвуковой капиллярный эффект, заключающийся в увеличении глубины и скорости проникновения жидкости в капиллярные каналы под действием ультразвука. Ультразвуковой капиллярный эффект обусловлен ударами кумулятивных струй и давлением, возникающим при захлопывании кавитационных пузырьков вблизи устья капилляра.

При распространении ультразвуковой волны в веществе интенсивность ее снижается по мере удаления от излучателя. Интенсивность ультразвука уменьшается вследствие геометрического расхождения ультразвуковой волны, которое приводит к увеличению площади поля, а также вследствие затухания ультразвука из-за поглощения

ультразвуковой энергии веществом. При этом механическая энергия колебаний частиц переходит в тепловую. В дисперсных системах происходит рассеяние ультразвука, когда энергия в результате отражений от неоднородностей дисперсной среды уходит из направленно распространяющейся волны [1].

Ультразвуковые волны в дисперсной системе претерпевают ослабление за счет поглощения и рассеяния при прохождении через межфазные границы в гетерогенных средах. При падении плоской звуковой волны на границу раздела двух сред, заметно различающихся плотностями и скоростями распространения звука, происходит ее отражение и преломление. Поэтому появление в контролируемой среде частиц дисперсной фазы вызывает рассеяние ультразвука [9].

Удельное акустическое сопротивление (импеданс) акустической среды для звуковых волн является важной характеристикой обрабатываемой среды, определяющей условия прохождения звука через ее границу. При падении плоской звуковой волны на границу раздела двух сред величина коэффициента отражения определяется отношением акустических сопротивлений этих сред. При этом сопротивление прохождения излучения через границу пропорционально ее акустическому импедансу [1].

В промышленных и лабораторных условиях с помощью ультразвука диспергируют минералы, металлы, карбонатные соли, гипс, композиты. Использование ультразвука также весьма эффективно и в процессах избирательного измельчения и обогащения синтетических алмазов.

Помимо очистки минералов от поверхностных образований, ультразвук способен их разрушать, причем разные минералы разрушаются в различной степени. Наиболее легко диспергируются глауконит, мергеля, глины и другие минералы осадочного происхождения. Такая способность ультразвука используется для раскрытия сростков и агрегатов, содержащих золото. Известен способ электромагнитно-ультразвуковой дезинтеграции сростков микрокомпонентов золоторудных концентратов, который включает раскрытие минерального зерна волновым воздействием. Разрушение сростков глины и золота выполняют электромагнитным полем с частотой $2 \cdot 10^{11}$ Гц и при интенсивности излучения не менее $2,83 \cdot 10^2$ Вт/см² при последовательном влиянии ультразвука в продольном и поперечном направлениях [3].

В работе [2] показана возможность ультразвуковой очистки различных минералов от оксидов железа. Описана технология очистки от загрязнений кварцевых стекольных песков. Механическая оттирка песков не обеспечивала достаточно полного удаления оксидов, хотя

проводилась в течение 30—40 мин. Применяя ультразвук частотой 20 кГц с интенсивностью 3 Вт/см², удалось сократить длительность обработки до 2-5 мин и значительно полнее удалить оксиды.

Для разделения коллективных продуктов, получаемых при обогащении комплексных руд, достаточно часто применяют подогрев пульпы или пропарку. Технологические операции, происходящие при термообработке, требуют существенных энергетических затрат и специально, экологически безопасного, аппаратурного оформления. Вместо подогрева пульпы коллективного медно-свинцового концентрата по данным работы [2] может использоваться ультразвук.

Необходимым условием достижения оптимальных режимов и условий воздействия при разработке новых технологий является контроль параметров ультразвукового воздействия. Это достигается применением специализированных приборов, обеспечивающих визуальное наблюдение, а также измерением амплитуды колебаний излучающих поверхностей колебательных систем [2]. Такие системы сравнивают эффект воздействий от систем различной мощности и конструктивного исполнения [4].

Известен способ измерения амплитуд ультразвуковых колебаний, заключающийся в использовании вертикально погруженного капилляра с рупором. об Величину амплитуды колебаний определяют по квазистационарной высоте подъема жидкости в капилляре [2]. Контакт торца капилляра с источником ультразвука обеспечивает передачу стенкам капилляра ультразвуковых колебаний и в десятки раз увеличивает высоту подъема жидкости в капилляре по сравнению с высотой подъема под действием радиационного давления [2].

Рекомендации по выбору режимов ультразвукового воздействия и специализированного оборудования заключаются в выборе оптимальной частоты, продолжительности и энергии воздействия [2]. При этом также определяются наиболее оптимальные условия (объем, время, температура, давление) воздействия, учитывающие особенности конкретных технологических процессов. Для определения оптимальных условий необходимо учитывать особенности дисперсных систем [1].

Применение ультразвуковых воздействий не всегда обеспечивает получение наилучших результатов, что во многом связано с преобладанием эмпирического подхода к выбору условий и параметров процесса ультразвукового кондиционирования.

Затруднения в реализации выбранного направления интенсификации процесса липкостной сепарации связаны с тем, что:

- в недостаточной мере изучены закономерности ультразвукового

кондиционирования алмазосодержащих продуктов обогащения кимберлитовых руд;

- не выбраны параметры ультразвукового кондиционирования для очистки алмазов от гидрофилизирующих поверхностных образований при соблюдении условий их сохранности.

Библиографический список

1. Кириллов О.Д. К вопросу о возможности применения ультразвука в процессах обогащения полезных ископаемых // Физика и физико-химический анализ: Сб. тр. МИЦМИЗ. 1957. №30. Вып. 1. – С.45-65.
2. Глембоцкий В.А., Колчманова А.Е. Интенсификация процессов обогащения руд с применением ультразвука. М.: ЦНИИТЭИ цветной металлургии, 1973. - 80 с.
3. Хмелев В.Н., С.С. Хмелев, Р.Н. Голых, Р.В. Барсуков. Повышение эффективности ультразвуковой кавитационной обработки вязких и дисперсных жидких сред // Ползуновский вестник, № 3, 2010. – С. 321-325.
4. Хмелев, В.Н. Ультразвуковые многофункциональные и специализированные аппараты для интенсификации технологических процессов [Текст] / В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, Р.Н. Барсуков, С.Н. Цыганок, А.Н. Сливин. – Бийск, Изд-во Алтайского гос. технич. ун-та, 2007. – 400 с.

THEORY AND PRACTICE OF THE APPLICATION OF ULTRASONIC INFLUENCES IN THE PROCESSES OF CONCENTRATION OF ORE AND NON-METALLIC RAW MATERIALS

I.A. Podkamennyi, E.A. Kadyrbekova

mirniy.yuriy@mail.ru

The features of the application of ultrasonic influences in the processes of concentration of ore and nonmetallic raw materials are considered. It is shown that microflows of the liquid arising during the passage of an ultrasonic wave through a liquid act on the boundary layer near the grains. At the same time, the resistance to diffusion and convective transfer of reactants decreases and the rate of chemical processes increases.

Keywords: diamond, kimberlite, cavitation, ultrasound, dispersion.