

УДК 622.7.092

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ГРАНУЛО- МЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗОРУДНОЙ ПУЛЬПЫ

О. В. Поркьян

Доктор технических наук, доцент, заведующая
кафедрой*

Т. Г. Сотникова

Аспирант*

*Кафедра высшей и прикладной математики
Технологический институт Восточноукраинского
Национального университета им. В. Даля
пр. Советский, 59-а, г. Северодонецк, Луганская обл.,
Украина, 93400

Контактный тел.: (06452) 4-03-42

E-mail: sotnikova@sti.lg.ua

У роботі запропонований метод контролю гранулометричного складу пульпи на основі ультразвукових хвиль Лемба та об'ємних ультразвукових хвиль з урахуванням флокулоутворення при дії магнітного поля

Ключові слова: магнітне збагачення, флокулоутворення, хвилі Лемба, контроль, міра розкриття мінералу

В работе предложен метод контроля гранулометрического состава пульпы на основе поверхностных ультразвуковых волн Лэмба и объемных ультразвуковых волн с учетом флокулообразования при действии магнитного поля

Ключевые слова: магнитное обогащение, флокулообразование, волны Лэмба, контроль, степень раскрытия минерала

In work offered method of control granulometric composition mashes with an account flokulobrazovaniya at the action of the magnetic field on the basis of ultrasonic waves of Lemba and by volume ultrasonic waves

Key words: magnetic enriching, flokulobrazovanie, waves of Lemba, control, degree of opening of mineral

Проблема и ее связь с научными или практическими задачами

Реализация политики энергосбережения особенно важна для экономики Украины. Решение этой задачи возможно путем внедрения энергоэффективных технических средств, технологических и организационно-технических решений, непрерывного контроля качества ведения технологического процесса, а также энергосберегающих методов автоматического управления и регулирования.

Наиболее энергоемким процессом на горнообогатительных комбинатах является измельчение руды. Отсюда вытекает задача оперативного определения и контроля необходимой степени раскрытия минералов железной руды и формирование режимов её измельчения, обеспечивающих эту степень раскрытия при наименьших затратах.

Анализ исследований и публикаций

Исследования в области обогащения [1] показали, что качество измельченного продукта характеризуется плотностью или содержанием твердого в пульпе, гранулометрическим составом твердой фазы, а также

показателями качества начальной руды: содержанием полезных компонентов, минеральным составом, которые не зависят от технологического режима работы цикла измельчения. Следовательно, измеряя крупность и плотность частиц измельченного материала в пульпе можно определить степень раскрытия полезного компонента.

В настоящее время разработаны и используются различные методы измерения вещественного состава промышленных суспензий, но одними из перспективных, с точки зрения разработки измерительных комплексов, являются ультразвуковые методы, в основу которых положено определение изменения амплитуды (интенсивности) ультразвуковой волны.

Амплитуда ультразвуковой волны частоты ν , прошедшей в пульпе расстояние Z , может быть описана выражением [1]:

$$A_{\nu}(Z) = A_0 \exp \left\{ - \frac{ZN}{V} \int_0^{R_{\max}} \sigma(\nu, R) f(R) dR \right\},$$

где A_0 - амплитуда объемной волны, прошедшей расстояние Z в чистой воде; N - число частиц в эффективном контролируемом объеме V пульпы; R_{\max} - максимальный размер твердых частиц; $\sigma(\nu, R)$ - полный коэффициент ослабления ультразвука на частице радиуса R , который определяется суммой ко-

эффицентив поглосения и рессейния улътразвука: $\sigma(v,R) = \sigma_c(v,R) + \sigma_s(v,R)$, $f(R)$ - функция распределения частиц по размерам, которая дает возможность определить массовое процентное содержание контрольного класса крупности $\omega_{\pm R}$, как характеристику гранулометрического состава пульпы.

Затухание ультразвуковой волны в рассматриваемой среде происходит, в основном, за счет поглощения и рассеяния энергии волны на твердых частицах и газовых пузырьках и зависит от размера частиц и от длины волны акустических колебаний [2].

Так на малых частотах поглощение ультразвука преобладает над рассеянием, а с увеличением частоты резко возрастает сечение рассеяния ультразвуковых волн на твердых частицах. Таким образом, частота ультразвука не должна быть очень большой, так как в этом случае теряется информация о крупности частиц, но и не может быть очень маленькой, поскольку на низких частотах отсутствует рассеяние волн на частицах.

Для определения характеристик пульпы используются как объемные, так и поверхностные волны. Методы контроля, основанные только на объемном ультразвуке, имеют свои недостатки: необходимость дегазации, необходимость настройки приборов, невысокая точность измерения контролируемых параметров. Исключить некоторые проблемы позволяет использование поверхностных ультразвуковых волн, волн Лэмба [1,2].

Волны Лэмба представляют собой упругие возмущения, распространяющиеся в твердом слое, у которых имеется смещение, как в направлении распространения волны, так и перпендикулярно плоскости пластины.

Для анализа и сравнения были рассмотрены различные методы ультразвукового контроля плотности частиц твердой фазы пульпы и степени раскрытия минералов при измельчении руд.

В работе [2] рассмотрен способ контроля степени раскрытия полезного компонента, основанный на измерении интенсивности объемных ультразвуковых колебаний и волн Лэмба, прошедших, соответственно, фиксированное расстояние через исследуемую среду и по металлической пластине, контактирующей с исследуемой средой, в различные моменты времени специально сформированного движения измельченного материала. Приведенный способ контроля предполагает наличие определенного количества исследуемого материала с определенным гранулометрическим составом его частиц. Измерения по этому способу не являются абсолютными, поэтому необходимо проводить предварительные исследования для различных руд с целью получения градуированных кривых.

Волны Лэмба использовались и для оценки плотности твердой фазы пульпы [3]. Данный способ основан на использовании двух измерительных каналов на базе гамма-излучения и волн Лэмба. В данном случае необходим источник гамма-излучения, что не всегда разрешено по технике безопасности.

Два измерительных канала используют и для определения массового процентного содержания контрольного класса крупности частиц твердой фазы пульпы. В [2,3] показано, что один сигнал формируется поверхностным ультразвуком, а другой объемным, величина которого определяется выражением:

$$S_1 = \ln(I_{0v_2}/I_{v_2}) = Z n \int_0^{R_{max}} \sigma_s(v_2, R) f(R) dR = \frac{ZW}{\kappa} \int_0^{R_{max}} \sigma_s(v_2, R) f(R) dR \quad (1)$$

где I_{0v_2}, I_{v_2} - интенсивность объемных ультразвуковых колебаний высокой частоты, прошедших расстояние Z в чистой воде и пульпе; W - объемная доля твердого в пульпе; n - концентрация, κ - характеристика частиц: $\kappa = \frac{4}{3} \pi \int_0^{R_{max}} R^3 f(R) dR$.

Анализ выражения показывает, что величина сигнала определяется концентрацией твердой фазы и распределением частиц ее составляющих по размерам (ее гранулометрическим составом).

Для получения второго сигнала, пропорционального содержанию твердой фазы, используются волны Лэмба.

Интенсивность волны Лэмба, прошедшей расстояние l , по поверхности контактирующей с исследуемой средой, определяется выражением:

$$I_{1,v} = I_{1,v}^* \cdot \exp \left\{ -W \frac{[\rho_{ТВ} - \rho_{В}]}{\rho_{ПЛ}} C_v l \right\} \quad (2)$$

Величина этого сигнала пропорциональна объемной доле твердого в пульпе W и не зависит от содержания газовых пузырьков:

$$S_2 = \ln \left(\frac{I_{1,v}^*}{I_{1,v}} \right) = W \frac{[\rho_{ТВ} - \rho_{В}]}{\rho_{ПЛ}} C_v l \quad (3)$$

где $I_{1,v}^*, I_{1,v}$ - интенсивность волн Лэмба на расстоянии l от источника при контакте пластины, по которой они распространяются, с чистой водой и пульпой соответственно; $\rho_{ТВ}$ - плотность твердой фазы; $\rho_{В}$ - плотность воды; $\rho_{ПЛ}$ - плотность материала пластины; C_v - постоянная величина, не зависящая от плотности жидкости; l - расстояние между источником и приемником волн.

Отношение величин S_1 и S_2 дает величину, не зависящую от W и характеризующую гранулометрический состав контролируемой среды:

$$S = \frac{S_1}{S_2} = \frac{Z \cdot \rho_{ПЛ}}{C_v \cdot l \cdot \kappa (\rho_{ТВ} - \rho_{В})} \int_0^{R_{max}} \sigma_s(v_2, R) f(R) dR \quad (4)$$

Величина S зависит только от распределения твердых частиц по размерам, а, значит, однозначно определяет концентрацию контрольного класса крупности частиц твердой фазы, и, кроме того, не зависит от содержания газовой фазы суспензии.

Однако этот метод не охватывает все физические процессы, протекающие при рассматриваемой стадии магнитного обогащения. Недостатком перечисленных методов является то, что не учитывается изменение гранулометрической характеристики твердой фазы пульпы при явлении магнитной флокуляции, которое наблюдается при воздействии магнитного поля на ферромагнитную пульпу.

Рассмотренный метод ультразвукового контроля параметров пульпы может служить основой для создания усовершенствованного метода оценки степени раскрытия полезного компонента железной руды при ее измельчении.

Постановка задачи

Целью данной работы является разработка метода, который дает возможность контролировать изменение гранулометрического состава твердой фазы пульпы с учетом физических процессов, протекающих в пульпе при действии магнитного поля. Железородная пульпа рассматривается как проводящая ферромагнитная гетерофазная среда, в которой распространяются объемные ультразвуковые волны и поверхностные волны Лэмба. В работе также ставилась задача проанализировать процессы, происходящие в исследуемой среде при распространении ультразвуковых волн и при ее намагничивании.

Изложение материала и результаты

Магнитная сепарация происходит, как правило, в водной среде, т.е. на магнитное обогащение поступает суспензия, содержащая различные компоненты, преимущественно магнетит. При движении пульпы частицы магнетита перемещаются относительно друг друга и взаимодействуют своими полюсами. Такое движение ферромагнитных частиц в магнитном поле в направлении уменьшения общей магнитостатической энергии (энергии свободных полюсов) приводит к образованию флоккул из этих частиц [4]. Явление магнитной флокуляции неизбежно сопровождается любой способ обогащения тонкоизмельченных сильномагнитных материалов и непосредственно влияет на эффективность их обогащения, повышает производительность и извлечение магнитного концентрата.

Степень флокуляции частиц твердой фазы известного размера (известной концентрации контрольного класса крупности частиц твердой фазы) при фиксированном значении напряженности магнитного поля зависит только от концентрации ферромагнитного компонента в частицах твердой фазы. При линейном же увеличении напряженности магнитного поля, которое воздействует на исследуемую среду, за счет флокуляции происходит изменение концентрации контрольного класса крупности частиц исследуемой среды.

Для определения степени раскрытия ферромагнитного минерала в твердой фазе пульпы предлагается комбинированный способ.

Рассмотрим измерительный канал, схема которого приведена на рис. 1.

Через измерительный сосуд течет контролируемая среда (пульпа) с постоянной скоростью. Одна из стенок измерительного сосуда представляет собой измерительную пластину, по которой распространяются волны Лэмба. Эта волна формируется посредством формирующей призмы 1 и излучающего пьезопреобразователя 2. Пройдя фиксированное расстояние l по пластине, волна также через формирующую призму 3 поступает в приемный пьезопреобразователь 4. При этом величина затухания волн Лэмба в стенке измерительного сосуда 5 определяется пройденным расстоянием и концентрацией твердой фазы в исследуемой среде, которая контактирует со стенкой измерительного сосуда. Эта величина не зависит от размера частиц руды, которые в ней находятся, и

определяется выражением (2). При этом формируется сигнал (3).

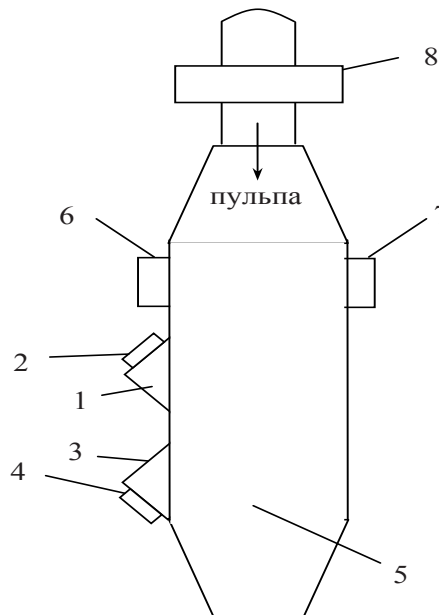


Рис. 1. Схема измерительного канала

Второй излучающий преобразователь 6 пьезоэлектрического типа преобразует электрический сигнал в объемные упругие ультразвуковые колебания среды. Через стенку измерительного сосуда 5 они передаются в исследуемую среду и, пройдя фиксированное расстояние в ней, поступают на второй приемный преобразователь 7, который осуществляет преобразование упругих ультразвуковых колебаний в электрический сигнал.

При прохождении объемными ультразвуковыми волнами фиксированного расстояния в железородной пульпе, величина их затухания определяется концентрацией твердой фазы контролируемой суспензии и размером частиц руды, которая в ней находится. Для области больших частот $\nu_2 = 5-10$ МГц, когда $\sigma(\nu_2, R) \approx \sigma_s$ формируется сигнал (1).

Возникающее с помощью катушки 8 магнитное поле намагничивает исследуемую среду, что приводит к флокуляции частиц твердой фазы. Чтобы учесть эти процессы, предлагается формировать сигнал на основе нескольких каналов:

$$S = \frac{S_1^m - S_1}{S_2}, \tag{5}$$

где S_1, S_1^m - сигналы, которые прошли через исследуемую среду соответственно под действием магнитного поля и без него, S_2 - сигнал, который прошел фиксированное расстояние по стенке сосуда с исследуемой средой.

Сигнал объемного ультразвука S_1^m под действием магнитного поля определяется, исходя из (4), выражением:

$$S_1^m = \ln \left(\frac{A_{0\nu_2}^m}{A_{\nu_2}^m} \right) = \frac{ZW}{R^m} \int_0^{R_{\max}^m} \sigma_s^m(\nu_2, R^m) f(R^m) dR^m, \tag{6}$$

где A_{0v2}^m - амплитуда объемного ультразвука в чистой воде при действии магнитного поля, A_{v2}^m - амплитуда объемного ультразвука в пульпе при действии магнитного поля.

Поскольку $A_{0v2}^m = A_{v2}^m$ значение S_1^m будет определяться только концентрацией твердой фазы, гранулометрической характеристикой контролируемого материала и его магнитными свойствами.

Сигнал объемного ультразвука S_1 определяется выражением (1). Сигнал поверхностного ультразвука S_2 определяется с учетом величин, которые характеризуют магнитные свойства вещества. В статье [5] проанализированы процессы, которые происходят при распространении волн Лэмба в исследуемой системе, в том числе при ее намагничивании и разработан метод, который дает возможность определить долю магнитного компонента в твердой фазе железорудной пульпы. В работе получена формула, которая является основанием для определения доли магнитного компонента η в твердой фазе пульпы:

$$\eta = \left[\frac{(\rho_{тв} - \rho_{в})}{\rho_{пл} I_M} C_v I \right] \frac{\chi H}{\ln \left(\frac{I_{lv}^*}{I_{lv}} \right)},$$

где $\chi = \mu - 1$ - магнитная восприимчивость пульпы, находящейся в магнитном поле; H - напряженность магнитного поля; $\ln \left(\frac{I_{lv}^*}{I_{lv}} \right) = S_2$, I_M - намагниченность чистого (100%) магнетита при насыщении.

Исходя из данного выражения, получим:

$$S_2 = \left[\frac{(\rho_{тв} - \rho_{в})}{\rho_{пл}} \cdot C_v I \right] \cdot \frac{\chi H}{\eta I_M} \quad (7)$$

С учетом выражений (1), (6), (7) формула (5) будет иметь вид:

$$S = \frac{ZW \rho_{пл} \eta I_M}{C_v I (\rho_{тв} - \rho_{в}) \chi H} \left(\frac{1}{R^m} \int_0^{R_{max}} \sigma_s^m(v_2, R^m) f(R^m) dR^m - \frac{1}{R} \int_0^{R_{max}} \sigma_s(v_2, R) f(R) dR \right) \quad (8)$$

Величина S определяется магнитными свойствами выбранного класса крупности измельченного материала, поэтому и характеризует степень раскрытия ферромагнитного материала.

Выводы

В ходе исследований были проанализированы методы ультразвукового контроля гранулометрического состава рассматриваемой среды. При воздействии магнитного поля на ферромагнитную пульпу, представляющую собой смесь раскрытых частиц ферромагнитного минерала и пустой породы, а также их сростков, наблюдаются процессы флокуляции, в результате чего, происходит изменение гранулометрической характеристики твердой фазы пульпы.

Получена зависимость комбинированного ультразвукового сигнала (8), которая отражает это изменение гранулометрической характеристики. Таким образом, определение сигнала S дает возможность контролировать степень раскрытия ферромагнитного материала.

Литература

1. Моркун В.С., Потапов В.Н. Современные методы ультразвуковой гранулометрии. - М.: Ин-т Черметинформации, 1991.-22с.
2. Моркун В.С., Поркуян О.В. Ультразвуковые поверхностные волны Лэмба и Лява в измерительных системах.- Кривой Рог, 2006.- 261с.
3. Моркун В.С. Адаптивное управление процессами измельчения-классификации руд на базе средств ультразвукового контроля характеристик измельченных материалов.- Разработка рудных месторождений,2002, №80-56-59с.
4. Кармазин В.И., Кармазин В.В. Магнитные методы обогащения.- М:Недра, 1978.-384с.
5. Моркун В.С., Поркуян О.В., Сотникова Т.Г., Барский С.Н. Измерение содержания ферромагнитного компонента в потоке пульпы//Вісник КТУ.-2004.- №5-с.7-11.