

МПК В 02 С 19/06. Способ измельчения материалов в потоке энергоносителя и устройство помола для его осуществления / Шостак В.В., Кулаков М.П.; заявитель и патентообладатель Шостак В.В., Кулаков М.П. – № 96109854/03; заявл. 14.05.96; опубл. 27.12.97. 3. Пат. №2016665 Российская Федерация, МПК В 04 С 1/00. Центробежный сепаратор / Буров А.А., Буров А.И., Котляревский П.А., Кошур Н.Х., Мальгота А.А.; заявитель Буров А.А.; Буров А.И.; Котляревский П.А.; Кошур Н.Х.; Мальгота А.А.; патентообладатель Буров А.И. – № 4943501/26; заявл. 10.06.91; опубл. 30.07.94.

Поступила в редколлегию 30.08.12

УДК 621.926.086

Замкнутый цикл измельчения твердых материалов / А.А. МАЛЬГОТА, В.А. ПРОХОРОВ, А.В. ШОСТАК // Вісник НТУ «ХП». – 2012. – № 48 (954). – (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 104 – 107. – Библиогр.: 8 назв.

Представлені результати розробки технологічної лінії замкнутого циклу дроблення і подрібнення твердих матеріалів з можливістю багатократного повернення частинок речовини в подрібнювальний пристрій.

Presents the results of a closed-cycle production line of crushing and grinding hard materials with the ability to return multiple particles of matter in the grinding device.

УДК 622.781

И.К. МЛАДЕЦКИЙ, д-р техн. наук, проф.,
ГВУЗ «НГУ», Днепропетровск,
Э.М. ПАЙВА, Горнорудное общество «Катока», Ангола

РАЗМАГНИЧИВАНИЕ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ЧАСТИЦ В ПУЛЬПЕ

Рассматривая механическое перемещение частицы ферромагнетика в вязкой среде под действием внешнего магнитного поля, получен закон движения ее, и определена частота изменения внешнего магнитного поля, когда частица существенно отстает по фазе от вектора внешнего магнитного поля, что обуславливает возможность ее размагничивания в пульпе.

Введение. Магнитная сепарация предполагает намагничивание ферро-частиц до насыщения. После выхода их из зоны сепарации они принимают остаточную намагниченность, что влечет за собой их флокуляцию. В резуль-

© И.К. Младецкий, Э.М. Пайва, 2012

тате нерудная фаза в виде открытых нерудных частиц остается во флокулах и в дальнейшем практически не выводится в обедненный продукт. Таким образом, необходима промежуточная операция, которая бы размагничивала частицы и пульпа была бы представлена отдельными частицами, а не агрегатами частиц.

Постановка задачи. Задача размагничивания тонких частиц в пульпе решалась путем создания размагничивающих аппаратов, в которых амплитуда напряженности переменного магнитного поля снижалась от напряженности насыщения магнетита до нуля от входа пульпы в аппарат до ее выхода. Пульпа свободным потоком проходила через этот аппарат. Частота магнитного поля была 50 Гц. Флокулы уменьшали свои размеры по сравнению с размерами в постоянном магнитном поле разделения сепаратора. Это явление способствовало освобождению нерудных частиц из флокул, поэтому предполагалось, что происходит размагничивание частиц. Никакие физические способы определения остаточной напряженности частиц и флокул не проводились. Заключение об эффекте размагничивания проводилось по результатам дальнейшей сепарации: чем больше разность качества обогащенного продукта в двух приемах сепарации с применением размагничивающего аппарата, тем больше эффект размагничивания. Аппараты называли размагничивающими и в промышленности стали их использовать перед сепарацией, если пульпа уже прошла операцию разделения в магнитном поле. На наш взгляд это не было размагничиванием.

Исследование поведения феррочастиц в магнитном поле различной частоты [2] показало, что отдельные частицы появляются в полях свыше 500 Гц. В полях 50 Гц флокулы только лишь переориентируются. Таким образом, размагничивания не наблюдается. Рассмотрим с теоретической точки зрения какие же частоты магнитного поля будут удовлетворять условиям размагничивания.

Математическая модель. Размагничивание ферромагнитного образца производится следующим образом. Образец жестко закрепляется в пространстве, где будет наведено магнитное поле. Ориентация образца такая, что ось легкого намагничивания располагается параллельно вектору внешнего магнитного поля.

Устанавливается напряженность поля, соответствующая насыщению образца.

Производится многократное изменение направления вектора напряжен-

ности. В результате образец будет иметь остаточную намагниченность, которая располагается на кривой начального намагничивания.

Уменьшается амплитуда напряженности и процедура повторяется. Так поступают до уменьшения напряженности до нуля. В результате образец будет полностью размагничен. Основным условием размагничивания является жесткое его положение в изменчивом магнитном поле. Когда образец не закреплен, то он стремится изменить свое положение в соответствии с изменением направления вектора внешнего магнитного поля, поворачиваясь осью легкого намагничивания вслед за этим вектором внешнего магнитного поля. Скорость следования образца за скоростью изменения внешнего магнитного поля зависит от намагниченности образца, от параметров внешней среды и условий закрепления образца в пространстве. Намагниченность образца при условии не закрепления образца не изменяется.

Чтобы добиться перемагничивания частиц в пульпе, где, как известно, ферромагнитные частицы свободно могут ориентироваться вдоль вектора внешнего магнитного поля, оно должно изменяться со скоростью, которая превышает скорость механического перемещения образца в этом поле. Угол запаздывания между углом поворота частицы и вектором магнитного поля должно быть более 90° . С тем, чтобы частицы успели двинуться вслед за магнитным полем, имеющим в тот момент однополярное направление. Определим, какова должна быть при этом частота изменения поля.

Предположим, что в потоке пульпы в качестве твердой фазы содержатся частицы ферросилиция, имеющие форму эллипсоидов вращения с большой осью a и малой осью b . Предположим также, что магнитное поле равномерное.

При попадании в магнитное поле каждая такая частица намагничивается и на ее концах образуются «магнитные массы». Эти массы взаимодействуя со внешним магнитным полем, вызывают вращение частицы относительно малой оси, т.е. ориентируются большой осью вдоль вектора внешнего магнитного поля, что приводит к изменению размагничивающего фактора отрезка пульпы и, как следствие к изменению магнитной восприимчивости этого отрезка пульпы. Это, так называемое, магнитное структурирование. До поступления в магнитное поле, частицы ориентированы длинной осью произвольно в пространстве и распределение углов ориентации равномерное. А после попадания в поле ориентация частиц у всех одинаковая.

Момент вращения, действующий на частицу, составляет [1]:

$$M_{MEX} = fa \sin \alpha_1, \quad (1)$$

где $f = mH$ – сила, действующая на концы частицы; α_1 – угол между большой осью частицы и вектором внешнего магнитного поля; m – магнитная масса.

Учитывая, что $m = \Phi$, т.е. магнитный поток, проходящий через сечение S частицы, получаем $f = \Phi H$. Известно также, что

$$\Phi = BH, \quad (2)$$

$$B = \mu_0 \bar{\mu} H, \quad (3)$$

где $\bar{\mu}$ – магнитная проницаемость частицы; $\mu_0 = 1.26 \times 10^{-6}$ Гн/м – абсолютная магнитная постоянная; B – магнитная индукция в области частицы.

Тогда:

$$M_{MEX} = \mu_0 \bar{\mu} S H^2 a \sin \alpha_1 = K_1 \sin \alpha_1. \quad (4)$$

Вращению частиц препятствует момент от силы противодействия, которая зависит от вязкости среды. Сила вязкости среды равна [2]:

$$F_\mu = \frac{18\mu U_\omega m_\omega}{a^2 \delta_\omega}, \quad (5)$$

где μ – коэффициент динамической вязкости среды; U_ω – линейная скорость вращения концов частицы; m_ω – масса частицы; δ_ω – плотность частицы.

Таким образом:

$$M_\mu = F_\mu a. \quad (6)$$

Линейная скорость концов частицы $U = \pi a \frac{d\alpha_1}{dt}$. Общее выражение для статического момента противодействия:

$$M_{\mu} = \frac{18\mu m_{\text{ч}}}{a^2 \delta_{\text{ч}}} \frac{d\alpha_1}{dt} = K \frac{d\alpha_1}{dt}. \quad (7)$$

Угол поворота частицы можно определить из равенства:

$$M_{\mu} = M_{\text{МЭХ}} + J_1 \frac{d\omega}{dt}, \quad (8)$$

где J_1 – момент инерции частицы.

С погрешностью, не превышающей 5 %, предположим, что $\sin \alpha_1 = \alpha_1$. Тогда уравнение динамического равновесия частицы составит:

$$J_1 \frac{d^2\alpha_1}{dt^2} - K \frac{d\alpha_1}{dt} + K_1\alpha_1 = 0. \quad (9)$$

Корни характеристического уравнения этого дифференциального уравнения составляют:

$$p_{1,2} = \frac{K \pm \sqrt{K^2 - 4J_1K_1}}{2J_1}, \quad (10)$$

а решение имеет вид:

$$\alpha_1(t) = \alpha_0 \left(\left(1 - \frac{p_1}{p_1 - p_2}\right) \exp(-p_1 t) + \frac{p_2}{p_1 - p_2} \exp(-p_2 t) \right). \quad (11)$$

Оценим численно, полученное решение при таких исходных данных:
 $a = 1\text{мм} = 10^{-3}\text{ м}$, $\delta_{\text{ч}} = 4000\text{кг} / \text{м}^3$, $\bar{\mu} = 2$, $H = 50000\text{А} / \text{м}$, $\mu = 10^{-3}\text{ Нс} / \text{м}^2$.

Момент инерции составит: $J_1 = 0.52 \times 10^{-12}$, коэффициенты: $K_1 = 5 \times 10^{-6}$, $K = 9.42 \times 10^{-9}$. Корни характеристического уравнения равны: $p_1 = 17.67 \times 10^3$, $p_2 = 0.59 \times 10^3$. Уравнение вращения частицы в числовом выражении:

$$\alpha_1(t) = \alpha_0(1 - 1.03\exp(-17.67 \times 10^3 t) - 0.03\exp(-0.59 \times 10^3 t)). \quad (12)$$

Время можно выразить через скорость потока пульпы на участке действия магнитного поля. Или же задаться условием, что угол поворота частиц не должен быть больше 5 – 10 % от начального значения. Тогда:

$$0.95 = (1 - 1.03\exp(-17.67 \times 10^3 t) - 0.03\exp(-0.59 \times 10^3 t)), \quad (13)$$

отсюда определим время воздействия магнитного поля одной полярности. Для чего ограничимся членом с наибольшим показателем и наибольшим коэффициентом, поскольку второй член уравнения вносит малую долю влияния на показатели движения частицы. Тогда:

$$\Delta t = \frac{\ln 0.95}{-17.07 \times 10^3} = 3 \times 10^{-6} \text{ с}. \quad (14)$$

Частота магнитного поля составит:

$$f = \frac{1}{\Delta t} = 0.33 \times 10^6 \text{ Гц} = 330 \text{ кГц}. \quad (15)$$

Время воздействия поля с частотой 50 Гц соответствует 0,01 с. В результате угол отставания ориентации частицы от вектора магнитного поля составляет:

$$\alpha_1(t) = \alpha_0(1 - 1.03\exp(-176,7) - 0.03\exp(-5,9)) = \alpha_0(1 - 0.00028) = 0,9997\alpha_0 \quad (16)$$

Выводы. Таким образом, воздействие на ферромагнитную пульпу переменным магнитным полем частотой 50 Гц не может вызвать размагничивания частиц ферромагнетика, поскольку эти частицы успевают ориентиро-

ваться осью легкого намагничивания вдоль вектора внешнего магнитного поля. Жесткого закрепления положения частицы в переменном магнитном поле не наблюдается. Некоторое улучшение реологических показателей ферромагнитной пульпы, прошедшей через размагничивающий аппарат можно объяснить механическим разрушением флоккул до размеров, которые определяются значением остаточной намагниченности феррочастиц.

Список литературы: 1. Кармазин В.В. Магнитные, электрические и специальные методы обогащения полезных ископаемых: в 2 т. / В.В. Кармазин, В.И. Кармазин. – М.: из-во Московского государственного горного университета, 2008. – Т. 1: Магнитные и электрические методы обогащения полезных ископаемых. – 2005. – 768 с. 2. Деркач В.Г. Специальные методы обогащения полезных ископаемых / В.Г. Деркач. – М.: Недра, 1966. – 338 с.

Поступила в редколлегию 27.08.12

УДК 622.781

Размагничивание ферромагнитных частиц в пульпе / И.К. МЛАДЕЦКИЙ, Э.М. ПАЙВА
// Вісник НТУ «ХП». – 2012. – № 48 (954). – (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 107 – 113. – Библиогр.: 2 назв.

На базі вивчення механізму переміщення частки ферромагнетика у в'язкому середовищі під дією зовнішнього магнітного поля, отримано закон її руху та визначена частота зміни зовнішнього магнітного поля, коли частка суттєво відстає по фазі від вектора зовнішнього магнітного поля, що обумовлює можливість її розмагничування у пульпі.

By considering a ferromagnetic particle mechanical motion in viscous medium under the action of external magnetic field we have discovered the particle motion law and have evaluated the frequency of external magnetic field fluctuations, when the particle is in lagging phase with vector of external magnetic field, when the possibility of particle demagnetization in pulp exists.