

Э.М. ПАЙВА

(Ангола, Предприятие Катока),

И.К. МЛАДЕЦКИЙ, д-р техн. наук

(Украина, Днепропетровск, Национальный горный университет)

ФЛОКУЛЯЦИЯ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ЧАСТИЦ УТЯЖЕЛИТЕЛЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ОСТАТОЧНОЙ НАМАГНИЧЕННОСТИ

Размагничивание утяжелителей из сильномагнитного минерала (магнетитовый концентрат, ферросилиций) применяют с целью уменьшения размеров частиц этого утяжелителя, который имеет достаточно сильную склонность к флокуляции. Крупность частиц утяжелителя составляет 100% класса -0,05 мм. Считается, что размагничивание может быть осуществлено в переменном магнитном поле достаточной интенсивности с частотой 50 Гц в потоке пульпы. При этом магнитное поле создают набором электрических катушек, охватывающих поток пульпы и достаточно близко расположенных друг от друга. Катушки имеют уменьшающееся количество витков от одного конца аппарата к другому. В результате образуется переменное магнитное поле с равномерно уменьшающейся амплитудой от входа потока пульпы к выходу его из аппарата и с частотой 50 Гц.

Для регенерации магнитной суспензии применяют барабанные магнитные сепараторы с магнитной системой, чередующейся полярности из постоянных магнитов. Отработанный утяжелитель проходит регенерацию, а затем размагничивание. Рассмотрим, каким образом происходит такое размагничивание.

Магнитные пряди или частицы имеют вытянутую форму, близкую к эллипсоиду вращения с соотношением длин большой и малой осей $\Lambda=2$ [2]. Частица осью легкого намагничивания (длинной осью) ориентируется вдоль вектора внешнего магнитного поля. В переменном магнитном поле частица следует за изменением этого вектора. Магнитная сила, которая ориентирует частицу, равна [2]:

$$F_{M1} = \frac{1}{\delta d} \mu_0 H^2 (\kappa_a - \kappa_b) \sin \alpha ,$$

где κ_a, κ_b – объемные магнитные восприимчивости частицы вдоль длинной и короткой осей; α – угол между вектором напряженности и длинной осью частицы.

Величины κ_a, κ_b зависят от соотношения длин осей частицы Λ , т.е. от размагничивающего фактора вдоль каждой из осей

$$N_a = \frac{\Lambda^2 (\ln(\Lambda + \sqrt{\Lambda^2 + 1}) - 1)}{(\Lambda^2 - 1)\sqrt{\Lambda^2 - 1}} ,$$

$$N_b = \frac{\Lambda^2}{(\Lambda^2 - 1)} \left(1 - \frac{\ln(\Lambda + \sqrt{\Lambda^2 + 1})}{\Lambda \sqrt{\Lambda^2 - 1}} \right).$$

А связь между магнитными восприимчивостями вещества и тела определяется соотношениями

$$\kappa_a = \frac{\kappa_M}{1 + \kappa_M N_a}, \quad \kappa_b = \frac{\kappa_M}{1 + \kappa_M N_b}.$$

Препятствует перемещению частицы сила вязкости. Поскольку происходит вращение частицы, то $U = 2\pi\alpha d$, уравнение движения имеет вид $F_\mu = F_{M1}$.

Учитывая, что $\omega = \frac{d\alpha}{dt}$, имеем

$$\frac{36\pi\mu}{\delta d} \frac{d\alpha}{dt} = - \frac{\mu_0 H^2 (\kappa_a - \kappa_b)}{\delta d} \sin \alpha.$$

Введя обозначения $36\pi\mu = A$, $\mu_0 H^2 (\kappa_a - \kappa_b) = B$, получаем уравнение

$$\frac{d\alpha}{\sin \alpha} = - \frac{B}{A} dt$$

решение, которого имеет вид

$$\ln(\csc \alpha - \operatorname{ctg} \alpha) = - \frac{B}{A} t + \ln C.$$

Начальные условия выбираем из таких соображений. Допустим, что поле мгновенно изменяется от $-H_1$ до $+H_1$. Частицы, в силу механической инерции естественно, не успевают за этим полем и начальный угол отставания составит $\alpha_0 = \pi$, тогда

$$\ln(\csc \pi - \operatorname{ctg} \pi) = \ln C,$$

т.е. $\csc \pi = -1$, $\operatorname{ctg} \pi = -\infty$, значит $\ln C = 0$, $C = 1$. При этом окончательное решение дифференциального уравнения примет вид:

$$\csc \alpha - \operatorname{ctg} \alpha = \exp\left(-\frac{B}{A} t\right).$$

Упростим последнее выражение, для чего тригонометрические функции

Збагачення корисних копалин, 2012. – Вип. 51(92)

Магнітна і електрична сепарація

выразим через синус и косинус, т.е.

$$\frac{1}{\sin \alpha} - \frac{\sqrt{1 - \sin^2 \alpha}}{\sin \alpha} = \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2},$$

тогда $\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \exp(-\frac{B}{A}t)$. Максимальный угол отставания частицы от вектора магнитного поля составляет 180° , т.е. π откуда

$$\alpha = 4 \operatorname{arctg} \exp(-\frac{B}{At}).$$

Время действия на частоту поля одной полярности равно половине периода $t=(2\omega)^{-1}$. На основании чего получим функцию угла запаздывания от частоты

$$\alpha = 4 \operatorname{arctg} \exp(-\frac{B}{A}\omega)$$

Проведем оценку полученной зависимости при таких исходных данных: $H = 10^4$ А/м, $\kappa_M = 10$, $\Lambda = 2$, при этом $N_a = 0,77$, $N_b = 5,3$; $\kappa_a = 1,15$, $\kappa_b = 0,18$; $A = 0,113$, $B = 126$.

$$\alpha = 4 \operatorname{arctg} \exp(-557\omega)$$

и результаты расчета сведем в табл. 1:

Таблица 1

Зависимость угла отставания поворота флюкулы от частоты изменения вектора внешнего магнитного поля

Гц	10	50	100	500	1000	3000	5000	10000	50000	100000
град	0	0	1	72	120	160	168	172	176	177

Таким образом, частицы утяжелителя, при частотах до 100 Гц практически успевают следовать за вектором внешнего магнитного поля без запаздывания. Свыше 1000 Гц запаздывание значительное составляет более 90° и начинается перемагничивание частиц. При частоте 10 кГц имеем достаточные условия для перемагничивания частиц.

Угол запаздывания может быть использован в качестве мерил размагниченности частиц: $K_{PA3} = \sin(\alpha - 90)$, поскольку размагничивание начинается тогда, когда составляющая вектора внешнего магнитного поля начинает иметь противоположное направление вектору намагниченности частицы.

Рассмотрим, каким образом изменяется размер флоккул в таких переменных полях.

Сила осевого сжатия выражается уравнением [2]

Збагачення корисних копалин, 2012. – Вип. 51(92)

$$F_{OC} = \frac{(S\kappa_a H)^2 k \mu_0}{4a^2 (1 + \kappa_a N_a)^2}, \quad (2)$$

где поперечное сечение флоккулы $S = \frac{\pi b^2}{4}$, причем $\frac{a}{b} = 2$; H – остаточная напряженность магнитного поля в теле флоккулы; N_a – размагничивающий фактор вдоль длинной оси флоккулы; k – эмпирический коэффициент, учитывающий заполнение тела флоккулы частицами.

Выразим поперечное сечение через размер частиц и определим количество частиц n , которые могут составить это сечение:

$$n = \frac{4\pi b^2}{4\pi d^2} = \frac{b^2}{d^2}, \text{ т.е. } b^2 = nd^2.$$

Разрушает флоккулу турбулентные мелкомасштабные пульсации σ с силой, зависящей от вязкости:

$$F_\mu = 3\pi\mu\sigma.$$

Условие равновесия флоккулы составляют

$$aF_\mu = bF_{OC}. \quad (3)$$

С учетом (2) получаем соотношение

$$\frac{a^2 (d\kappa H)^2 n^2 k \mu_0}{4a^2 (1 + \kappa_a N_a)^2} = 2 \times 3\pi\mu\sigma.$$

Отсюда, решая уравнение относительно длины флоккулы, имеем

$$\frac{(d\kappa H)^2 n^2 k \mu_0}{24\pi\mu\sigma(1 + \kappa_a N_a)^2} = a. \quad (4)$$

Обозначим $\frac{n^2 k}{24\pi} = G$, тогда

$$G \frac{(d\kappa H)^2 \mu_0}{\mu\sigma(1 + \kappa_a N_a)^2} = a.$$

Магнітна і електрична сепарація

Таким образом, размер флоккул в переменном магнитном поле прямо пропорционален остаточной напряженности магнитного поля частиц, их магнитной восприимчивости и размеру частиц и обратно пропорционален вязкости среды и интенсивности турбулентных пульсаций.

Оценим размер флоккул в зависимости от остаточной намагниченности частиц при таких условиях: $N = 0,16$; $\kappa = 5$; $\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6}$; $\mu = 1,2 \cdot 10^{-3}$; $\sigma = 1$; $G = 3,7$; $d = 5 \cdot 10^{-5}$ (все размерности в системе СИ). В соответствии с формулой (4) посчитаны данные, которые сведены в табл. 2:

Таблица 2

Расчетные значения размеров флоккул в поле остаточной намагниченности							
H, А/м	0	10	50	100	500	1000	10000
<i>a, м</i>	0	$3 \cdot 10^{-8}$	$75 \cdot 10^{-8}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$75 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-2}$
<i>a, мм</i>	0	0,00003	0,00075	0,003	0,075	0,1	30

Как следует из табл. 2 остаточная напряженность между 100 и 500 А/м уже будет увеличивать размер частиц утяжелителя в 2 раза, далее размеры флоккул резко увеличиваются снижая вязкость суспензии и ухудшая показатели разделения в тяжелосредном гидроциклоне.

Таким образом, для компенсации влияния крупности частиц суспензии необходимо увеличивать ее плотность, а значит и расход утяжелителя.

Список литературы

1. Пилов П.И. Научные основы сепарации и водопотребления при обогащении руд: Дис. ... д-ра техн. наук. – Днепропетровск, 1993.
2. Кармазин В.В., Кармазин В.И. Магнитные, электрические и специальные методы обогащения полезных ископаемых. – М., 2005. – Т.1. – 669 с.

© Пайва Э.М., Младецкий И.К., 2012

*Надійшла до редколегії 10.09.2012 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*