

8. Губин Г.Г. Теоретические предпосылки интенсификации процесса обезвоживания с использованием электроосмоса// Сб. научн. тр.– Кривой Рог: Ин-т Механообрчермет, 1999 г. – Ч.3. – С. 90-94.
9. Губин Г.Г. Электроосмотическая интенсификация обезвоживания дисперсных материалов в условиях повышенной минерализации жидкой фазы// Разраб. рудн. месторожд. – Вып.81. – Кривой Рог: КТУ. – 2002. – С. 94-99.

Рукопись поступила в редакцию 18.03.13

УДК 621.926: 534.16

Е.В. КОЧУРА, д-р техн. наук, проф.,

ФАРИС САМИР РАСМИ АЛЬХУРИ, аспирант, ГВУЗ «Национальный горный университет»

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСКРЫТИЯ ЖЕЛЕЗНОЙ РУДЫ ВО ВТОРЫХ И ТРЕТЬИХ СТАДИЯХ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

Наведено наукове обґрунтування функціональної схеми автоматизації розкриття залізної руди в кульових млинах других та третіх стадіях подрібнення магнітозбагачувальних фабрик

Проблема и ее связь с практическими задачами. Научной проблемой является обоснование функциональной схемы автоматизации управления раскрытием руды с переменными свойствами в шаровых мельницах, работающих во вторых и третьих стадиях измельчения железных руд магнитообогатительных фабрик. Решение этой проблемы позволяет автоматически раскрывать измельчением железную руду с переменными физико-механическими свойствами и обеспечить повышение технико-экономических показателей обогащения железных руд. Поэтому эта проблема является актуальной.

Анализ исследований и публикаций. В большинстве работ по автоматизации процессов измельчения основное внимание уделяется автоматизации шаровых мельниц, работающих в первых стадиях измельчения в замкнутом цикле со спиральными классификаторами. Известные принципы автоматизации вторых стадий измельчения [1] повторяют принципы автоматизации первых стадий измельчения. Однако технологические требования к автоматизации первых и вторых стадий различны. Поэтому и принципы автоматизации первых и вторых стадий измельчения должны быть разными. Первая стадия измельчения относится к процессам рудо-подготовки. Здесь главным является предварительное измельчение исходной руды с последующим выделением максимального количества бедных фракций и пустой породы. Задачей вторых стадий измельчения является раскрытие рудных сростков в промежуточном продукте, поступившем на вторую стадию обогащения после первой стадии. В настоящее время отсутствуют научно обоснованные принципы автоматизации управления раскрытием руды в шаровых мельницах, работающих во вторых стадиях магнитообогатительных фабрик.

Постановка задания. Требуемая крупность измельчения железной руды определяется требуемой массовой долей железа в продукте измельчения в соответствии с технологической картой. Требуемая крупность измельчения не может быть обеспечена известным критерием управления «максимальная производительность по классу -0,074 мм» по трем причинам: шаровая мельница работает в середине технологической линии и ее производительность задается производительностью предыдущего оборудования и не может быть максимальной; требуемая крупность измельчения задается крупностью вкрапления железа и является величиной переменной, а не фиксированной, равной 0,074 мм. Кроме того во вторых стадиях измельчения применяются шаровые мельницы с центральной разгрузкой, а не мельницы с решеткой как в первых стадиях измельчения. Целью настоящей статьи является разработка принципов автоматизации шаровых мельниц, работающих последовательно с магнитным сепаратором, на основе моделирования процессов измельчения и магнитной сепарации железных руд.

Изложение материала. Рассмотрим математическую модель шаровой мельницы. Уравнение Тунцова-Загустина определяет кинетику измельчения и имеет вид

$$\frac{1}{\bar{d}_2} - \frac{1}{\bar{d}_1} = k_1 t, \quad (1)$$

где \bar{d}_1, \bar{d}_2 - соответственно средние крупности руды на входе и выходе мельницы; t - время измельчения; k_1 - постоянный коэффициент определяющий условия измельчения. Время измельчения определяется временем нахождения руды в мельнице [1]

$$t = \frac{M_{\Pi}}{Q_{\Pi}} = \frac{L \cdot \varphi_p \pi R^2 \gamma_{\Pi}}{Q_{\Pi}}, \quad (2)$$

где M_{Π} - масса пульпы в мельнице; L - длина барабана мельницы; φ_p - степень заполнения мельницы рудой; R - радиус барабана мельницы; γ_p - плотность пульпы в мельнице; Q_p - производительность мельницы по рудной пульпе.

Так как во вторых стадиях измельчения работают шаровые мельницы с центральной разгрузкой, то в номинальных режимах работы $\varphi_p = \text{const}$ и время измельчения определяется плотностью пульпы γ_p . Плотность пульпы в мельнице определяется массовыми расходами руды в мельницу Q_p и воды W . В соответствии с [1] при условии, что плотность воды $\gamma_B = 1 \text{ т/м}^3$

$$\gamma_{\Pi} = \frac{\gamma_p(Q_p + W)}{Q_p + W\gamma_p}, \quad (3)$$

где γ_p - плотность руды.

Уравнения (1), (2), (3) представляют собой математическую модель шаровой мельницы с решеткой. Из уравнений (1), (2), (3) следует

$$k_1 = \frac{k_p \cdot P_m \cdot \gamma_p}{6\gamma_{\Pi} \cdot \varphi_p \pi R^2 L}, \quad (4)$$

где k_p - коэффициент Реттингера; P_m - активная мощность, потребляемая мельницей.

Для согласования моделей измельчения и раскрытия руды необходимо знать среднюю крупность руды в разгрузке мельницы. Известно [1], что после измельчения массу частиц можно обосновать функцией распределения или уравнением Розина-Раммлера

$$f(d) = A e^{-Ad}, \quad (5)$$

где $A = -\ln V/D$; D - максимальный размер ячейки сита, остаток в котором равен $v=0,05$.

Математическое ожидание крупности частиц

$$M(d) = \bar{d} = \int_0^{\infty} df(d) \delta d = \frac{1}{A}. \quad (6)$$

Если функция распределения крупности частиц задана гистограммой, что часто бывает на практике, то выход γ или содержание готового класса C_{p2}

$$C_{p2} = \gamma \approx l_p \cdot A, \quad (7)$$

откуда $A = C_{p2}/l_p$, где $l_p=0,074$ мм «готовый класс».

Средняя крупность частиц, поступающих на магнитную сепарацию определяется выходом готового класса в разгрузке мельницы

$$\bar{d} \approx \frac{1}{A} \approx \frac{l_p}{C_{p2}}. \quad (8)$$

Модели формирования активной мощности электродвигателя барабана мельниц представлены в работах [1], [2]. Воспользуемся объединенной моделью раскрытия Уигла и Ди с моделью магнитной сепарации, соответствующей ступенчатой сепарационной характеристике магнитного сепаратора. Будем считать, что при обогащении магнитной руды продукт, поступающий на магнитную сепарацию, состоит из трех компонентов: A - пустая порода; B - магнетит; AB - сростки. Содержание магнитного железа в сростках

$$\alpha_{AB} = \frac{C_{AB} \cdot \rho_B \cdot F_{eM}}{C_{AB} \rho_B - (1 - C_{AB}) \rho_A}, \quad (9)$$

где C_{AB} - средний состав нераскрытых частиц (сростков); ρ_B - плотность магнетита; F_{eM} - содержание железа в магнетите; ρ_A - плотность пустой породы.

$$C_{AB} = \frac{V_B - P_B}{P_{AB}}, \quad (10)$$

где V_B - объемное содержание магнетита в исходной руде; P_B - массовая доля магнетита; P_{AB} -

массовая доля сrostков.

$$P_B = \frac{(k-1)^3}{k^3} \cdot \frac{1}{n+1} + \frac{3(k-1)^2}{k^3} \cdot \left(\frac{1}{n+1}\right)^2 + \frac{3(k-1)}{k^3} \cdot \left(\frac{1}{n+1}\right)^3 + \frac{1}{k^3} \left(\frac{1}{n+1}\right)^4, \quad (11)$$

где k - отношение среднего размера зерна магнетита \bar{d}_{BK} к размеру частицы \bar{d}_2 , т.е. $k = \frac{\bar{d}_{BK}}{\bar{d}_2}$; n

- коэффициент состава, равный отношению объема A к объему B в агрегате, т.е. куске руды

$$P_{AB} = \frac{3(k-1)^2}{k^3} \cdot \left[\frac{(n+1)^2 - (n^2 + 1)}{(n+1)^2} \right] + \frac{3(k-1)}{k^3} \cdot \left[\frac{(n+1)^4 - (n^4 + 1)}{(n+1)^4} + \frac{1}{k^3} \left[\frac{(n+1)^8 - (n^8 + 1)}{(n+1)^8} \right] \right]. \quad (12)$$

Следовательно, содержание железа в слое концентрата на барабане магнитного сепаратора при условии, что все частицы, содержащие ценный минерал B , должны перейти в концентрат, а все частицы пустой породы должны перейти в хвосты, т.е. при идеальной сепарационной характеристике сепаратора массовая доля железа в концентрате будет равна

$$\alpha = \alpha_B \cdot P_B + \alpha_{AB} \cdot P_{AB}, \quad (13)$$

где α_B - массовая доля железа в магнетите; α_{AB} - массовая доля железа в сrostках.

Известно, что магнитная проницаемость концентрата описывается формулой К. Лихтенкера

$$\bar{\mu} = \mu_c^\alpha, \quad (14)$$

где μ_c - магнитная проницаемость смеси частиц, содержащих вещество магнетита.

Известно, что $\bar{\mu}_c = 1 + \bar{x}_c$, где x_c - магнитная восприимчивость смеси частиц, содержащих магнетит. В соответствии с [2] магнитная восприимчивость смеси частиц, содержащих магнетит

$$\bar{x}_c = \frac{x_M \bar{d}^2}{k_1 10^{-n} + \bar{d}^2}, \quad (15)$$

где x_M - магнитная восприимчивость вещества магнетита; \bar{d} - диаметр или крупность частиц продукта измельчения; k_1 - коэффициент (для руд Кривого Рога $k_1 = 2$); n - коэффициент, зависящий от выбора системы единиц (в системе СИ $n=4$).

Модель формирования радиальной составляющей напряженности магнитного поля в рабочей зоне сепаратора выделения концентрата описывается уравнением Файнштейна-Федорова [2]

$$H_R = \left(\frac{PH_o R_o^p \psi_1}{\psi} R_2^{-p-1} + \frac{2PH_o \psi_2}{R_1^{2p} \psi} R_2^{2p-1} \right) \cos P\varphi; \quad (16)$$

$$\left. \begin{aligned} \psi &= \left(1 - \bar{\mu}^* \frac{\gamma}{P} \right) + \lambda_1^{-2P} \left(1 + \bar{\mu}^* \frac{\gamma}{P} \right) \\ \psi_1 &= 1 - \bar{\mu}^* \frac{\gamma}{P} \\ \psi_2 &= 1 + \bar{\mu}^* \frac{\gamma}{P} \\ \lambda_1 &= \frac{R_1}{R_0}; \bar{\mu}^* = \frac{\bar{\mu}}{\mu_0}; \bar{\mu} = \mu_M^\alpha \\ \gamma &= \frac{\beta}{2} + \sqrt{\frac{\beta}{\lambda} + P^2} \end{aligned} \right\}, \quad (17)$$

где H_o - напряженность магнитного поля на поверхности магнитных полюсов; R_o - радиус магнитной системы сепаратора; $\bar{\mu}^*$ - относительная магнитная проницаемость концентрата; R_1 - радиус барабана сепаратора; P - количество пар полюсов магнитной системы; β - показатель степени экспоненциального закона распределения содержания железа вдоль радиуса слоя концентрата R_1 .

По формулам (1)-(12) для шаровой мельницы МШУ3,6×4,0 последовательно работающей с магнитным сепаратором ПБМ-ПП-120/300 были построены теоретические кривые раскрытия руды во второй стадии измельчения для трех типов руд. Эти кривые представлены на рис. 1.

Анализ этих кривых показывает функциональную связь между степенью раскрытия руды измельчением в мельнице второй стадии и массовой долей железа в концентрате магнитного

сепаратора.

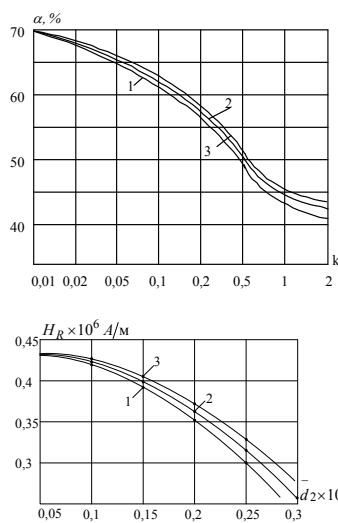


Рис. 1. Теоретические кривые раскрытия руды во второй стадии измельчения: 1 - $\alpha_p=20\%$; 2 - $\alpha_p=25\%$; 3 - $\alpha_p=30\%$; k - коэффициент раскрытия

С учетом формул (13), (14), (15) была построена зависимость радиальной составляющей напряженности магнитного поля H_R в рабочей зоне выделения концентрата сепаратора от средней крупности помола руды в мельнице d_2 . Эта зависимость представлена на рис. 2. Из рис. 2 следует, что радиальная составляющая напряженности магнитного поля в рабочей зоне магнитного сепаратора зависит от крупности помола руды в мельнице второй стадии измельчения.

Рис. 2. Теоретическая зависимость радиальной составляющей напряженности магнитного поля H_R в рабочей зоне выделения концентрата сепаратора от средней крупности помола руды \bar{d}_2 . 1 - $\alpha_p=20\%$; 2 - $\alpha_p=25\%$; 3 - $\alpha_p=30\%$

На рис. 3 представлены регулировочные характеристики шаровой мельницы второй стадии последовательно соединенной с магнитным сепаратором.

Анализ рис. 3 показывает, что изменяя плотность пульпы в шаровой мельнице с центральной разгрузкой можно управлять радиальной составляющей напряженности магнитного поля в рабочей зоне сепаратора, и, с учетом зависимостей рис. 1,2, крупностью помола и раскрытием руды в шаровой мельнице.

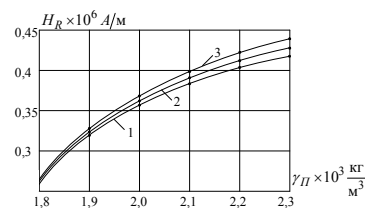


Рис. 3. Регулировочные характеристики шаровой мельницы работающей последовательно с магнитным сепаратором $H_R = f(\gamma_{II})$. 1 - $\alpha_p=20\%$; 2 - $\alpha_p=25\%$; 3 - $\alpha_p=30\%$

Функциональная схема автоматизации второй стадии измельчения представлена на рис. 4.

Обозначения на рис. 1: 1 - гидроциклон; 2 - шаровая мельница; 3 - магнитный сепаратор; 4 - регулирующий орган расхода

воды; V - расход воды в мельницу; α - массовая доля железа в концентрате; \bar{d}_1, \bar{d}_2 - соответственно средние крупности руды в загрузке и разгрузке мельницы; H_R - радиальная составляющая напряженности магнитного поля в рабочей зоне сепаратора; P - регулятор.

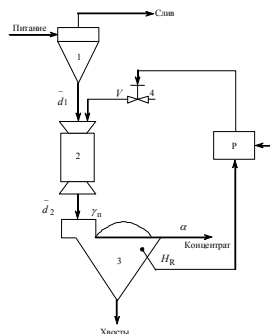
Результаты. Предложена математическая модель технологического комплекса, состоящего из шаровой мельницы, последовательно соединенной с магнитным сепаратором.

Рассмотрено математическое описание процесса раскрытия железной руды измельчением и моделирование изменения напряженности магнитного поля сепаратора в рабочей зоне под воздействием слоя измельченного магнитного продукта.

В результате исследования полученной модели с позиций задач управления установлено, что в технологическом комплексе второй стадии измельчения магнитной сепарации железных руд барабанный магнитный сепаратор является естественным автоматическим анализатором степени раскрытия железной руды измельчением в шаровой мельнице, последовательно соединенной с этим сепаратором.

Массовая доля железа в концентрате магнитного сепаратора, обогащающего продукт измельчения железной руды в шаровой мельнице, является мерой раскрытия руды измельчением и обратно пропорциональна крупности частиц твердой фазы пульпы в разгрузке шаровой мельницы.

Рис. 4. Функциональная схема автоматизации второй стадии измельчения



Это, в отличие от зависимости массовой доли железа, от крупности частиц твердой фазы пульпы в сливе классифицирующего аппарата, позволяет непосредственно управлять раскрытием руды измельчением путем изменения скорости движения руды в мельнице регулированием расхода воды в мельницу.

Предложена функциональная схема автоматизации раскрытия железной руды во второй и третьей стадиях измельчения.

Выводы. В результате исследования установлено, что:

барабанный магнитный сепаратор, находящийся в технологиче-

ском комплексе второй стадии измельчения магнитной сепарации железных руд, является естественным автоматическим анализатором степени раскрытия железной руды;

мерой раскрытия руды измельчением является массовая доля железа в концентрате магнитного сепаратора, которая обратно пропорциональна крупности частиц твердой фазы пульпы в разгрузке шаровой мельницы. Это позволяет непосредственно управлять раскрытием руды измельчением путем изменения скорости движения руды в мельнице регулированием расхода воды в мельницу;

массовая доля железа в концентрате магнитного сепаратора и радиальная составляющая напряженности магнитного поля в рабочей зоне сепаратора обратно пропорциональны степени раскрытия и крупности помола руды в шаровой мельнице;

регулирование плотности пульпы в разгрузчике шаровой мельницы по величине радиальной составляющей напряженности магнитного поля в рабочей зоне магнитного сепаратора, последовательно соединенного с шаровой мельницей, можно использовать в качестве управляющего воздействия раскрытия железной руды во второй стадии измельчения магнитной сепарации.

Перспективы дальнейших исследований заключаются в экспериментальной проверке полученных в результате моделирования теоретических зависимостей и разработке на их основе системы автоматического контроля и регулирования раскрытия руды в шаровой мельнице второй и третьей стадии измельчения.

Список литературы

1. Справочник по обогащению руд: обогатительные фабрики / Под ред. **О. С. Богданова**. – М.: Недра 1994. – т.4 – 346 с.

2. Метод автоматического контроля массовой доли железа в концентрате магнитного сепаратора / **Кочура Е. В., Ислам Абдельхамид Юсеф Аль Бостанжи** // Науковий вісник НГУ. – 2005. – №10. – С. 86-89.

Рукопись поступила в редакцию 22.03.13

УДК 622.766

Н.В. КУШНІРУК, канд.техн.наук, доц.,

В.В. КОМОГОРЦЕВА, магістр ДВНЗ «Криворізький національний університет»

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЇ ЗБАГАЧЕННЯ ОКИСЛЕНИХ ЗАЛІЗНИХ РУД У ВІТЧИЗНЯНІЙ І ЗАРУБІЖНІЙ ПРАКТИЦІ

Виконано аналіз розроблених та введених до експлуатації технологій збагачення окислених залізних руд в Україні та за її межами. Виявлені найбільш прогресивні технологічні рішення в схемах та устаткуванні, що використовуються. Визначенні основні напрямки подальших досліджень і конструктивних розробок.

Постановка проблеми. Стрімкий зріст чорної металургії потребує підсиленого розвитку видобутку залізорудної сировини із залученням у переробку залізистих кварцитів, які видобуваються. Від якості концентрату і підготовлених з нього агломерату та обкотишів залежать техніко-економічні показники роботи металургійних підприємств і собівартість металу. Однією з альтернативної сировини є окислені залізисті руди. Тому освоєння збагачення даного виду сировини в Україні та за її межами є однією з найважливіших задач, що стоять перед залізорудною промисловістю. Оскільки ці руди у ряді випадків видобувають разом з магнетитовими кварцитами, в якості розкривних порід та складають їх у відвали, вони складають дуже великі перспективні запаси залізних руд, що дають можливість розширити сировинну базу металургійної промисловості.

Світовий огляд технології збагачення показує можливість отримання концентрату з окислених залізних руд використовуючи різні методи збагачення та отримання концентрату з вмістом цінного компоненту до 64 %.

Для одержання залізорудних концентратів високої чистоти кращою вихідною сировиною можуть служити багаті окислені руди підземного видобутку.

Аналіз досліджень і публікації. На зарубіжних фабриках застосовують найрізноманітніші методи збагачення окислених залізних руд: промивку, збагачення на відсадкових машинах, гвинтових сепараторах, у важких суспензіях; флотаційне збагачення, магнітне збагачення в сильному магнітному полі на індукційно-роликівих і поліградієнтних сепараторах, електричну сепарацію. Ведуться розробки нових конструкцій устаткування для магнітного збагачення в сепараторах з надпровідною магнітною системою і іншого устаткування.

Проблема залучення в переробку окислених залізистих кварцитів виникла більше 35 років