

Твердость занижена, что не соответствует техническим условиям.

Закалка цементированного слоя удовлетворительная.

Микроструктура закаленного цементированного слоя некачественная из-за присутствия отдельных грубых включений разорванной карбидной сетки.

Микроструктура сердцевины неудовлетворительная, соответствует неполной закалке.

Глубина слоя цементации не соответствует техническим условиям, занижена. Насыщенность цементированного слоя углеродом неравномерная, на вершинах зуба завышена.

Изоляция от цементации по внутреннему отверстию отсутствует.

Для повышения эксплуатационных свойств деталей поворотных механизмов переносных и телескопных перфораторов необходимо решить дальнейшие исследования:

Повысить качество термической обработки.

Исследовать влияния термических преобразований в магнитной среде при поверхностных слоях деталей поворотных механизмов переносных и телескопных перфораторов.

Список литературы

1. **Хоменко О.С.** Гірниче обладнання для підземної розробки рудних родовищ: Довідковий посібник./ О.С. Хоменко, М.М. Кононенко, Д.В. Мальцев - Д.: Національний гірничий університет, 2010. – 340 с.
2. **Бегагоен И.А.** Повышение точности и долговечности буровых машин. / И.А. Бегагоен., А.И. Бойко М.: Недра. 1986. - 213с.
3. **Болховитинов Н. Б.** Атлас макро и микроструктур металлов и сплавов. /Болховитинова Е.Н. - М.: Машиностроение. 1964. 162с.
4. **Гуляев А.П.** Металловедение. – М.: Металлургия, 1986 – 544с.
5. **Сулима А.М.** Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин. / А.М. Сулима, В.А. Шулов, Ю.Д. Ягодкин – М.: Машиностроение. 1988. - 240 с.
6. **Мешков Ю.Я.** Сравнительный анализ двух моделей прочности твердых тел. / Ю.Я. Мешков – Металлофизика и новейшие технологии. Институт металлофизики им. Г.В. Курдюмова НАН Украины, том 27, № 3 март 2005. - 291 с.
7. **А.А. Griffith** Philos. Trans. R. Soc. A, 221: 163 (1920).
8. Структурний аналіз металів. Металографія. Фрактографія: Підручник – К.: Політехніка, 2006. – 328с.
9. **Пахолюк А.П., Пахолюк О.А.** Основи матеріалознавства і конструкційні матеріали: Посібник – Львів: Світ, 2005 – 172с.
10. **Чердиченко В.С.** Материаловедение. Технология конструкционных материалов [Текст]: учебн. пособие для вузов / под ред. В.С. Чердиченко. – М.: Омега – Л. 2009. – 752с.
11. **Гуляев А.П.** О прочности./ А.П. Гуляев – Металловедение и термическая обработка металлов – М.: Машиностроение, №7 1993.- 2с.
12. **Гуляев А.П.** Металловедение. – М.: Металлургия, 1963 – 456с. Рукопись подано до редакції 03.03.15

Рукопись поступила в редакцию 21.03.15

УДК 622.7: 681

Т.В. ХОРОЛЬСКАЯ, ст. преподаватель. Криворожский национальный университет»

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАЗДЕЛЕНИЯ ЧАСТИЦ ПО МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ И ПЛОТНОСТИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ РОБОТОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Рассмотрены модели и аналитические зависимости, описывающие процесс разделения магнитных частиц в рабочей зоне индуктора работотехнологического комплекса - интенсификатора. Лабораторные исследования, по определению амплитуды вибрации магнитных частиц составляющие ферромагнитные флоккулы, и на которые действуют разновидности бегущих электромагнитных полей, доказали, что максимальные вибрации возникают в случае, когда электромагнитное поле индуцированное трехфазной системой токов. Полученные результаты перспективные по использованию свойств импульсно-виброфлюккулярной среды при конструировании работотехнологических комплексов - интенсификаторов с целью получения концентратов с массовой долей железа до 69,5% и выше. Определены сферы использования импульсно - виброфлюккулярной среды, имеющую большую магнитную проницаемость по отношению к извлечению железа за счет взаимодействия его с гравитационными и инерционными полями. Доказана возможность выполнения с помощью импульсно-виброфлюккулярной среды разделения магнитных частиц по магнитной восприимчивости как в системе технологической классификации и сепарации в гидrocиклонах с бегущим полем, так и в процессах флотации для оптимизации процессов разделения с помощью работотехнологических - интенсификаторов.

Ключевые слова: импульсное бегущей поле, частица железа, классификация, сепарация, оптимизация, комплекс работотехнологический.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Высокие рыночные требования к качеству концентратов криворожских корпоративных предприятий на стратегическом периоде до 2020 г. значительно возрастают в связи с сталелитейной промышленности и безкоксовой металлургии.

В последние годы за рубежом построены ряд крупных железорудных комбинатов с высоким уровнем автоматизации, энергоэффективных технологий и оборудования. Растет значение магнетитовых руд, как сырья для получения инновационных продуктов с минимальным содержанием вредных примесей и высоким содержанием железа для безкоксовой металлургии с массовой долей железа более 69,5 %, концентрат железорудный (сушеный), горяче-брикетированное железо со степенью металлизации до 90 % [1]. Стратегия инновационного развития криворожских предприятий горно-металлургического комплекса до 2030 г. с модернизацией горнообогатительного цикла и увеличением производства продукции с высокой добавленной стоимостью, определяет сценарий разработки и внедрение новейшего технологического оборудования, робототехнологических комплексов для технологий рудоподготовки и доводки концентратов [2]. В то же время вопросы внедрения автоматизированных систем управления технологическими процессами с робототехнологическими комплексами становятся приоритетными и требуют глубоких исследований, например процессов взаимодействия магнитных частиц с импульсными бегущими полями, обеспечивающих управление качеством за счет учёта скачков и разрывов гетерогенной среды.

При наличии в многофазной среде поверхности разрыва, полученные авторами модели [3] позволяют провести ряд экспериментов для выбора эффективной системы дообогащения магнитных концентратов и получения суперконцентрата с содержанием общего железа 70 % и выше.

Анализ исследований и публикаций. Разработке и исследованию современных тенденций переработки магнетитовых железных руд с минимизацией потерь магнетита, посвящены работы Е.В. Кочуры [4], методы автоматического контроля и регулирования сухой магнитной сепарации железных руд глубоко изучены в работах Гуараба Мухаммеда [5], которые свидетельствуют о важности разработки робототехнологических комплексов с импульсно виброфлюктуарной средой. Поэтому разработка робототехнологических устройств для повышения эффективности разделения частиц по магнитной восприимчивости и плотности являются актуальной научной задачей. В результате решения этой задачи будут установлены закономерности получения разрывов при массопереносе гетерогенной среды и разработаны экспериментальные установки для изучения процессов и условий разделения магнитных частиц в импульсно бегущем магнитном поле.

Постановка задачи. Исследование физических закономерностей гетерогенной среды, содержащей поверхность разрыва для усиления сепарации частиц железной руды по магнитной восприимчивости и плотности, позволит разработать робототехнологический комплекс, повышающий эффективность сепарации и производства концентрата с минимизацией влаги.

Изложение материала и результаты. Для исследования диссипации энергии гетерогенных потоков при обогащении железных руд, будем рассматривать сплошную среду с непрерывным распределением источников массы интенсивности J , для которой закон сохранения массы записывается так [6]

$$d\rho/dt + \rho \operatorname{div} \vec{V} = j, \quad (1)$$

где ρ - плотность вещества; $d\rho/dt$ - ее индивидуальная производная $\frac{d}{dt} = \frac{d}{dt} + \vec{V} \nabla$,

$\nabla = \frac{\partial}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial}{\partial z} \vec{k}$ - оператор Гамильтона; $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ - орты, \vec{V} - вектор скорости. В среде выделим произвольный конечный объем $\tau = \tau(t)$.

Для скалярной или векторной функции $F(\vec{x}, t)$ - точки в сплошной среде имеет место равенство

$$\frac{d}{dt} \int_{\tau} F \delta\tau = \int_{\tau} \left(\frac{dF}{dt} + F \operatorname{div} \vec{V} \right) \delta\tau \quad (2)$$

В силу непрерывности $F(\vec{x}, t)$ допускается изменение местами операций дифференцирования и интегрирования

$$\frac{d}{dt} \int_{\tau} F \delta\tau = \int_{\tau} \frac{dF}{dt} \delta\tau + \int_{\tau} F \frac{d}{dt} (\delta\tau).$$

С использованием формулы $\frac{d}{dt} (\delta\tau) = \text{div} \vec{V} \delta\tau$ быстроты изменение объем $\delta\tau$ среде приходим к (2). Это доказательство получено автором работы [7], из которого вытекает следующее условие:

Если выполняется равенство $\text{div} \vec{V} F + Q = 0$, то необходимым и достаточным образом имеет место соотношение вида $\int_S \vec{V} F \vec{n} ds - \int_{\tau} Q \delta\tau = 0$ и уравнение вида

$$\frac{d}{dt} \int_{\tau} F \delta\tau = \frac{d}{dt} \int_{\tau_0} F \delta\tau + \int_{\tau} F \vec{V} \vec{n} ds, \quad (3)$$

где $\tau_0 = \tau(t_0)$ - фиксированный объем, S - ограничивающая его поверхность: \vec{n} - нормаль к S .

С использованием формулы индивидуальной производной подинтегральное выражение формулы (2) переписывается $\frac{dF}{dt} + \text{div}(\vec{V} F)$.

Первая половина условия есть известное обобщение теоремы Остроградского-Гаусса [3], а вторая - результат применения формулы (3).

Выражение [3] утверждает, что скорость изменения левой части равенства [3] есть сумма скорости изменения интеграла от F при τ_0 и потока F через S .

Для функции $F(\vec{x}, t)$ точки сплошной среды с непрерывным распределением источников массы интенсивности j имеет место соотношение

$$\frac{d}{dt} \int_{\tau} \rho F \delta\tau = \int_{\tau} \rho \frac{dF}{dt} \delta\tau + \int_{\tau} F j \delta\tau \quad (4)$$

Следовательно, с использованием формул (1) и (2) получаем выражение (4), а для однородной (однофазной) среды постоянной массы, т.е. $j=0$, приходим к известной формуле [7].

При $F=1$ имеем уравнение неразрывности в интегральной форме, от которой легко перейти к (1).

При $F = \vec{V}$ с использованием теоремы Остроградского-Гаусса и в силу произвольности объема $\tau(t)$ приходим к уравнению количества движения

$$\rho \frac{d\vec{V}}{dt} + j\vec{V} = \rho \vec{f} + \text{div} P \quad (5)$$

в дифференциальной форме, где f - вектор объемных сил, P - тензор напряжений. При $j=0$ имеем известный результат [6].

При $F=V^2/2$ и переходе от поверхностного интеграла к объемному и в силу произвольности объема $\tau(t)$ получаем формулу сохранения кинетической энергии

$$\rho \frac{d}{dt} \left(\frac{V^2}{2} \right) = \rho \vec{f} \vec{V} + \vec{V} \text{div} P - j V^2 \quad (6)$$

которая также получается из равенства (5) скалярным умножением на \vec{V} .

При $F = \left(\cup + \frac{V^2}{2} \right)$, где \cup - удельная внутренняя энергия среды.

В результате выполнения аналогичных предыдущему преобразований, получим уравнение баланса полной энергии в дифференциальной форме

$$\rho \frac{d}{dt} \left(\cup + \frac{V^2}{2} \right) = \rho \vec{f} \vec{V} + \text{div}(P \vec{V}) + \rho q - j \left(\cup + \frac{V^2}{2} \right) \quad (7)$$

первые три слагаемых, которого соответствуют «старому» результату. Член ρq соответствует подводимому извне к объему $\tau(t)$ количеству энергии.

При $F=\cup$ с точностью до знака приходим к уравнению

$$\rho \frac{d\cup}{dt} = \rho q - N_{in} - j\cup \quad (8)$$

баланса внутренней энергии, скорость изменения которой определяется притоком внутренней энергии извне и через «источники» и мощностью внутренних сил [6]. Его можно получить вычитанием уравнения (8) из уравнения (7).

При $j=0$ имеем «старый» результат $\rho \frac{d\cup}{dt} = \rho q - N_{in}$. Для движущегося объема $\tau(t)$, содержащего поверхность разрыва Σ , к аналогичным полученным выше результатам приходим с использованием выражения

$$\frac{d}{dt} \int_{\tau(t)} F d\tau = \int_{\tau(t)} \left\{ \frac{dF}{dt} + \text{div}(F\vec{v}) \right\} \delta\tau + \int [Fv] ds, \quad (9)$$

где $v = \vec{V}\vec{N}$ - нормальная составляющая скорость среды относительно Σ , квадратные скобки обозначают скачок величины при переходе через поверхность разрыва Σ , т.е. $[F]=F^+-F^-$.

Таким образом, полученные выше на примере однородной (однофазной) сыпучей среды (или жидкой среды) результаты можно расценивать как алгоритмизацию законов механики гетерогенной среды и определенный шаг на пути создания робототехнологических комплексов для сепарации частиц железной руды по магнитной восприимчивости и плотности в импульсно бегущем магнитном поле [9]. Для управления и усиления поверхности разрыва μ частиц с разной магнитной восприимчивостью и плотностью нами проведены лабораторные исследования взаимодействия ферромагнитной среды с импульсно бегущим полем. Такую среду в дальнейшем будем называть импульсно виброфлокулярной (ИВФС). Для выявления сепарационных свойств ИВФС массу ферромагнитных частиц в количестве 0,3-2 г/см² помещали на поверхность индуктора - источника переменного трехфазного электромагнитного поля, создающего бегущее поле. Вектор бегущего поля изменяется в трехмерном пространстве по гармоническому закону и при взаимодействии частицы магнита с таким полем создаются условия для ее движения. При действии бегущего поля на ферромагнитную среду возникают вибрации отдельных частиц, что снижает силу внутреннего сопротивления при движении в этой среде и таким образом создаются условия для разделения по плотности [9].

Лабораторные исследования по определению амплитуды вибрации частиц, составляющие ферромагнитные флокулы, находящиеся под действием разновидностей бегущих полей (с различными формами фазных токов) показали, что максимальными вибрации будут в случае, когда бегущее поле индуцировано трехфазной системой токов [10].

Математическое описание закона изменения тока в отдельной фазе может быть представлено выражением вида

$$\vec{J} = \vec{J}_o k \cos \omega t \left[\vec{I}(t) - \vec{I}(t - \tau_1) + \vec{I}(t - \tau_1 - \tau_2) - \vec{I}(t - 2\tau_1 - \tau_2) + \vec{I}(t - 3\tau_1 - 2\tau_2) + \vec{I}(t - 3\tau_1 - 3\tau_2) - \dots \right] \quad (10)$$

В этой формуле \vec{I} - единичная функция с периодом $T \rightarrow \infty$; \vec{J}_o - амплитуда фазового тока; k - коэффициент усиления; $j k = \text{var}$; ω - круговая частота тока в индукторе; τ_1 - время положительного (нарастающего) фронта импульса поля; τ_2 - время отрицательного (спадающего) фронта.

Под воздействием такого импульсно бегущего поля ферромагнитная среда приобретает определенную степень подвижности, параметры которой можно изменить в соответствии с формулами (9, 10). Кроме этого данное свойство такой среды можно использовать для выявления (усиления) различий в плотностях слабомагнитных минералов, находящихся в данном объеме ферромагнетика.

В процессе лабораторных исследований выявлены сепарационные свойства минералов с разными μ . Эксперименты показали, что в ИВФС возможны условия, при которых обеспечивается плотность разделения в пределах 2,8-4,6 г/см³. Данное обстоятельство очень существенно, поскольку плотность разделения у стандартного гравитационного оборудования значительно меньше (примерно 3,1-3,5 г/см³). Это позволяет утверждать, что при комбинированной сепара-

ции (например, флотации и устройство с ИВФС) можно получить более высокую избирательность процесса и соответственно $F_{\text{е}_{\text{конц}}} \rightarrow 70\% \beta$ общего.

В ИВФС, в присутствии вынужденных гармонических, механических колебаний, при разделении по плотности эффективность максимальна в случае, если направление колебаний $\vec{F}_{\text{вибр}}$ совпадает с направлением действия силы тяжести ($\vec{F}_{\text{грав}}$), а направление поперечной составляющей импульсно бегущего поля (\vec{F}_1) противоположно к ($\vec{F}_{\text{грав}}$). Воздействие со стороны магнитного и инерционного полей на магнитную частицу носит строго согласованный временной характер, представленный на рис. 1.

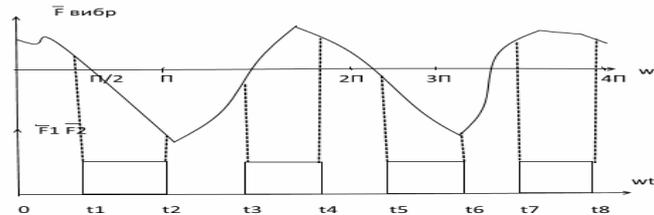


Рис. 1. Эпюры сил, действующих на магнетитовые частицы в рабочей зоне робототехнологического комплекса

Последнее свойство оценивается нами как принципиальное отличие свойств ИВФС, что позволяет рассматривать такие среды как перспективные при конструировании робототехнологических комплексов для доводки магнитных концентратов с содержанием массовой части железа до 64,5-64,9 % и производства суперконцентратов с содержанием массовой части железа до 69,5-70 % и выше [11].

Таким образом, при проектировании робототехнологических комплексов - интенсификаторов с импульсно бегущим электромагнитным полем, выполненных в качестве гидроциклонов - сепараторов [12] или систем робототехнологического управления процессом флотации с интенсификацией процесса разделения и оптимизация управления процессом извлечения железа достигается совместным воздействием импульсно бегущего электромагнитного поля, гравитационного и инерционного полей с образованием импульсно виброфлокулярной среды, обладающей повышенной проницаемостью для немагнитных частиц минералов. Эти технические решения создают предпосылки для эффективного извлечения железа и производства суперконцентрата с содержанием массовой доли железа больше 69,5 %.

Выводы и направления дальнейших исследований. Исследованы модели массопереноса твердых магнитных частиц в трехмерном пространстве импульсно бегущего магнитного поля с возможностью усиления поверхности разрыва с помощью ударных комбинированных воздействий. Установлено, что перспективным направлением для повышения эффективности процесса разделения магнитных частиц является использование методов, осуществляющих управляемое воздействие на делимые частицы магнитной, гравитационной и инерционной силами и возможностью автоматического управления их величиной и соответствием в зависимости от минералогического состава продуктов, поступающих на дообогащения. Показана возможность осуществления с помощью ИВФС разделения частиц по магнитной восприимчивости как в системах классификации и сепарации в гидроциклонах с бегущим полем, так и робототехнологическими интенсификаторами в процессах флотации.

Список литературы

1. Баранов В.Ф. Современные тенденции переработки магнетитовых железных руд. Основные направления /В.Ф. Баранов, Н.А. Патковская, Т.И. Тасина// Обогащение руд. 2013 - №3 – с 10-17.
2. Хорольський К.Д. Технологічно – інноваційна стратегія розвитку гірничо – металургійного кластеру регіону /К.Д. Хорольський// Інвестиції, практика та досвід. 2014- №7 – с 135 – 143.
3. Хорольская Т.В. Теоретические модели сложных технологических процес сов и аппаратов обогатительной технологии /Е.К. Бабец, В.П. Хорольский, Т.В. Хорольская// Науковий вісник НГУ. 2004 - №12 – с 15 – 19.
4. Кочура Е.В. Развитие научных основ автоматизации процессов магнитного обогащения руд с целью энерго-сбережения: дис. на соиск. уч. степени докт. техн. наук / Е.В. Кочура – Днепропетровск. 1996. – 331 с.
5. Гуараб Мохаммед. Методи автоматичного контролю і регулювання сухої магнітної сепарації залізних руд: автореф. Дис. на соиск. уч. степени докт. техн. наук / Гуараб Мохаммед – Днепропетровск. 2009. – 20 с.

6. Лайцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. / Л.Г. Лайцянский – М.: Наука, 1970. Изд. 3 перераб. и дополн. – 904 с.
7. Серрин Дж. Математические основы классической механики жидкости / Дж. Серрин – М.: ИИЛ, 1963. – 256 с.
8. Соболев С.Л. Управление математической физики / С.Л. Соболев. – М.: - Л.: ГИТТЛ, 1947. – 440 с.
9. Хорольская Т.В. Робототехнические системы – интенсификаторы процесса обогащения труднообогатимых руд / В.П. Хорольский, Т.В. Хорольская, Е.К. Бабец // Збагачення корисних копалин – Вип. 24 (65) – Дніпропетровськ. – 2005 – с. 91 – 100.
10. Борисов Ю.М. Электротехника / Ю.М. Борисов, Д.Н. Липатов, Ю.Н. Зорин // учебник для Вузов. М.: Энергоатомиздат. 1985. – 552 с.
11. Хорольская Т.В. Оптимизация проектных решений в системе робототехнологического управления процессом доводки концентрата / Е.К. Бабец, В.П. Хорольский, Т.В. Хорольская // Разработка рудных месторождений. Вып. 1(90). – Кривой Рог. – 2006. – с. 109 – 113.
12. Авт. св. СССР 580904. Электромагнитный гидроциклонный сепаратор: М кл². ВОЗС 1/02/ В.П. Хорольский – 2147189/22-03; Заявл. 20.06.75; опубл. 25.11.77. Бюл. № 43.

Рукопись поступила в редакцию 21.03.15

УДК 621.3.029.4: 622.785

S.V. FILATOV, cand. of tehn. sciences, associate professor
 S.A. ZHUKOV, doctor of engineering sciences, professor
 I.V. GIRIN, senior teacher, A.S. FILATOV, master's degree
 Krivoy Rog Technical University

JUSTIFICATION OF PARAMETERS AND CONSTRUCTION TECHNOLOGY OF OPEN PIT ROADS

Justification reduction of overburden operations in the application of concave cross-section of transport berms. The road is a complex engineering structures to ensure continuous and convenient movement of vehicles with standard speeds and loads with minimal cost of fuel and lubricants. Its main elements are in terms of track road (road axis horizontal position on the ground), the angle of rotation, straight and curved sections.

The design parameters for transport berm width of convex and concave cross-section shown in the Fig. 1.

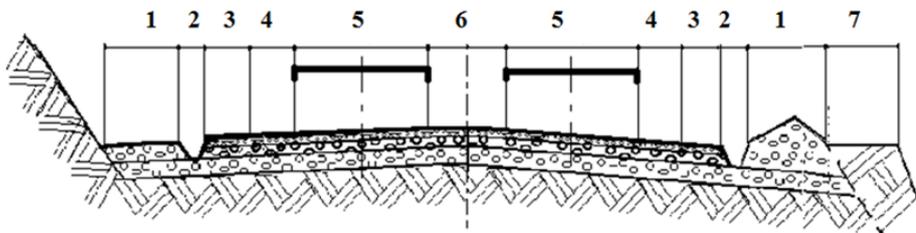


Fig. 1. The design parameters of two-lane transport berm open pit mining

As seen from it, width two-lane road open pit mining with a convex cross-section, located on the ledge, consists of a shaft or a measure of the width of the zone of spilling 1 (3 m) of water drain or ditch draining 2 (1,5 m), a pedestrian-term track 3 (1,5 m), psychological strip caused a cab dump 4 (2 m), width of 5 to dump mirrors (7 m), the distance between opposing dump 6 (7 m) and safety berm 7 (3 m). The total width of the transport berm is 40 m and the width of the transfer belt - 28 m.

The total width of the transport berm on which the two-way road open pit mining with a convex cross-section according to is 40m and the width of the transfer belt - 28 m.

The width of the berm transport of two-way highway with a concave cross-section, also consists of the above parameters, but less than in the previous case. This is achieved by: placing water drain ditches 2 in the transverse area of the road (3 m), cancellation pedestrian walkway 3 with side slopes scarp (1,5 m), and reducing the distance between the counter supersize trucks (up to 5 m) by increasing stabilization stability and improve the safety of its movement.