
УДК 622.75/.77

Основные методы и проблемы физических способов сепарации сыпучих мелкодисперсных материалов

Соловьев Л.П.

В работе проведен анализ возможностей и проблем, возникающих при реализации физических способов сепарации сыпучих мелкодисперсных материалов. Отмечено, что постоянный рост потребления минерального сырья, сопровождающийся снижением концентрации в рудах нужных химических элементов, а также увеличение количества и номенклатуры отходов производства и потребления, требует более широкого внедрения и совершенствования физических способов сепарации сыпучих мелкодисперсных материалов. Отмечено, что при реализации различных способов магнитной, электродинамической и электрической сепарации (за исключением трибоэлектростатической сепарации), не используется сепарация в режиме свободного падения массы сыпучих материалов в гравитационном поле. Обращено внимание на важность применения режима свободного падения массы сыпучих материалов в гравитационном поле, а также использования импульсных режимов в электродинамической сепарации, что будет способствовать повышению эффективности сепарации.

Ключевые слова: магнитная, электродинамическая, электрическая и рентгенометрическая сепарация, мелкодисперсные сыпучие материалы, минеральное сырье, отходы производства и потребления.

The basic ways and problems of physical separation methods for fine loose materials

Solovjev L.P.

The paper presents the analysis on possibilities and problems when performing physical ways of separating fine loose materials. Continuous growth of mineral raw material consumption together with concentration reduction of necessary chemical elements in ores, as well as increase in quantity and the nomenclature of production wastes and consumption, demands more widespread introduction and improvement of physical ways for separating fine loose materials. In a freefall mode of loose material weight in the gravitational field the separation method is not used when performing different ways of magnetic, electrodynamic and electric separation (except for triboelectrostatic separation). Special attention is paid to the importance of applying a freefall mode of loose material weight in the gravitational field, as well as using pulse modes in electrodynamic separation in order to enhance separation efficiency.

Keywords: magnetic, electrodynamic, electric and X-ray radiometric separation, fine loose materials, mineral raw materials, production wastes and consumption.

Введение

Постоянный рост потребления минерального сырья, сопровождающийся снижением концентрации в рудах нужных химических элементов, требует все большей эффективности извлечения из руд требуемых компонентов. Аналогичная ситуация складывается с утилизацией отходов производства и потребления. Рост количества и качества производства и потребления приводит к дальнейшему расширению объемов и номенклатуры исполь-

зуемых материалов и химических элементов. Отходы различных производств (черной и цветной металлургии, машиностроения и радиоэлектроники, топливно-энергетического комплекса и др.), а также утилизируемые отходы потребления (автомобильная и бытовая техника, радиоэлектронная аппаратура, различные предметы бытового назначения и другие изделия) являются очень сложными по своему составу, содержат большое количество дефицитных химических элементов, вплоть до

драгоценных металлов. Извлечение необходимых компонентов из сырья и отходов является очень важной не только экономической, но и экологической задачей, так как позволяет уменьшить антропогенно-техногенную нагрузку на окружающую среду. При переработке сложных по составу минеральных руд и отходов производства и потребления используются в основном различные физические способы выделения требуемых компонентов. Химические методы используются достаточно редко (например, выщелачивание золота цианидом натрия из бедных руд), так как они обычно достаточно дороги и оказывают негативное влияние на окружающую среду.

Магнитная сепарация

Магнитная сепарация [1,2] обычно осуществляется совместно с действием гравитационных сил в воздушной или водной среде для отделения парамагнитных и ферромагнитных компонентов сыпучих мелкодисперсных материалов от их диамагнитных составляющих. При этом в процессе сепарации кроме магнитных и гравитационных сил на частицы сепарируемого материала действуют: сила трения, центробежная сила и сила сопротивления среды. Современные сепараторы работают в диапазоне напряженностей магнитного поля 100 – 2000 кА/м, которые создают силы воздействия более чем на два порядка превышающие силы гравитации. Тем не менее, ощутимое снижение эффективности сепарации дает воздействие сил трения, которые возникают при перемещении частиц под воздействием магнитного поля, в слое сепарируемого материала, прижимаемого гравитацией к рабочим поверхностям сепараторов. Существенно снизить величину сил трения, а значит, и повысить эффективность сепарации, можно осуществляя воздействие магнитного поля на поток свободно падающего сыпучего мелкодисперсного материала. Используя пульсирующее магнитное поле, создаваемое системой

электромагнитов, и изменяемый отрицательный угол наклона нормали магнитного поля к направлению потока частиц, можно регулировать процесс сепарации, обеспечивая его эффективность при различной удельной магнитной восприимчивости и дисперсности сепарируемого материала [3].

Электродинамическая сепарация

В основу электродинамической сепарации заложен принцип наведения токов Фуко во всех металлических предметах с помощью вихревого магнитного поля. В результате чего возникает сила, действующая на эти предметы и направленная от поверхности, создающей вихревое магнитное поле. Величина отталкивающей силы зависит от частоты вихревого магнитного поля и величины электропроводности частиц сепарируемого дискретного материала. Аналогично, как и в случае магнитной сепарации, наблюдается снижение эффективности за счет воздействия сил трения в слое сепарируемого материала. Возможно, снизить величину сил трения, а значит, и повысить эффективность сепарации, можно путем воздействия вихревого магнитного поля на поток свободно падающего сыпучего мелкодисперсного материала [3]. В рамках электродинамической сепарации имеется проблема снижения величины отталкивающей силы в тех случаях, когда размер дискретных частиц становится меньше глубины скин-слоя. В [4] теоретически доказано, что за счет воздействия на металлические частицы субмиллиметрового размера неоднородного внешнего магнитного поля, возбуждаемого импульсным током длительностью в десятки миллисекунд, им можно придать направленную скорость от единиц до десятков см/с. При наличии в сепарируемом материале ферромагнетиков в них возникает сила притяжения к источнику электромагнитного поля, преобладающая над силой отталкивания, то есть существует возможность разделения частиц черных и цветных металлов.

Электрическая сепарация

При отсутствии в смеси сыпучих мелкодисперсных материалов компонентов с ярко выраженными магнитными или электропроводящими свойствами, но при наличии компонентов с явными диэлектрическими и слабыми проводящими свойствами, наиболее эффективной для ее разделения является электрическая сепарация. Существуют три разновидности электрической сепарации [1].

Сепарация в электростатическом поле осуществляется путем контактной зарядки проводящих частиц сыпучей массы по поверхности одного из электродов, создающих электростатическое поле (например, электрод в виде вращающегося барабана или наклонной пластины, по которой скользит масса материала). Проводящие частицы приобретают заряд электрода, с которым контактируют, и соответственно заряд противоположного знака относительно второго электрода. Электрическое поле отрывает проводящие частицы от поверхности заряжающего их электрода, то есть пространственно разделяет их с диэлектрическими частицами.

При незначительном различии диэлектрических и проводящих свойств компонентов сыпучей массы более эффективной является сепарация, при которой зарядка частиц осуществляется в поле коронного разряда. Резкое увеличение напряженности поля приводит не только к приобретению проводящими частицами заряд электрода, с которым они контактируют, но и диэлектрическими частицами заряда, противоположного заряду контактного электрода. В результате чего возникает не только отталкивающая сила для проводящих частиц, но притягивающая для диэлектрических частиц, что существенно повышает эффективность их пространственного разделения (например, в случае контактного барабанного электрода, диэлектрические частицы «прилипают» к поверхности электрода и их приходится счищать с помощью скребка).

Трибоэлектростатическая сепарация используется для разделения материалов практически не отличающихся по электропроводности, но имеющими различную по знаку электризацию трением. Электризацию частиц производят при трении частиц между собой и (или) при трении частиц о специальную поверхность (трибоэлектризирующий элемент). Знак заряда, приобретаемый частицами, можно регулировать путем подбора материала трибоэлектризирующего элемента. В дальнейшем пространственное разделение частиц может осуществляться путем барабанного или наклонного электрического сепарирования, а также в ходе свободного частиц смеси сыпучих материалов в электростатическом поле.

Рентгенорадиометрическая сепарация

Как отмечено в [5] рентгенорадиометрическая сепарация (PPC) это «...единственный "прямой" метод оценки содержаний большинства элементов, содержащихся в руде или любом кусковом материале...».

В самом общем виде метод PPC включает в себя [5]:

- дробление и грохочение исходной руды для получения кусков руды определенного диапазона крупности;
- последовательное облучение каждого куска руды мягким рентгеновским излучением;
- детектирование флуоресцентного и отраженного излучения от куска руды;
- автоматическая компьютерная обработка данных (определение количества регистрируемого элемента (элементов), сравнение с установленными пороговыми значениями и выдача команд на исполнительный механизм);
- в соответствии полученными командами исполнительный механизм либо пропускает кусок руды (в случае количества регистрируемого элемента ниже порогового значения), либо отбрасывает кусок руды в бункер-накопитель (в случае количества регистрируе-

мого элемента равного или выше порогового значения). Причем если количество кусков обогащенной руды больше, чем обедненной, то отбрасываться может обедненная руда.

Возможности РРС достаточно и эффективны, поэтому, несмотря на техническую сложность и высокую стоимость, ее применение в первую очередь на горно-обогатительных предприятиях не только целесообразно, но и экономически выгодно.

Заключение

Повышение эффективности физических методов сепарации при обогащении минерального сырья и утилизации твердых отходов производства и потребления позволит повысить экономическую эффективность горнодобывающей промышленности, более полно использовать вторичное сырье и снизить антропогенно-техногенную нагрузку на окружающую среду.

Литература

1. Кармазин В.В., Кармазин В.И. Магнитные и электрические методы обогащения полезных ископаемых: Учебник для вузов. – М.: МГТУ, 2005.
2. Соловьев Л.П., Пронин В.А. и др. Извлечение ферромагнитных материалов из золошлаковых отходов // Экология и промышленность России, 2009, №6.
3. Соловьев Л.П., Булкин В.В. и др. Электромагнитный сепаратор с пульсирующим током // Экология и промышленность России, 2011, №7.

Статья поступила в редакцию 12 мая 2014 г.

Соловьев Лев Петрович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность» Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром, Россия. E-mail: solovjev47@mail.ru

Solovjev Lev Petrovich – Ph.D., Murom Institute of Vladimir State University, Murom, Russia. E-mail: solovjev47@mail.ru

4. Дядин В.И., Кожевников В.Ю., Козырев А.В., Сочугов Н.С. Импульсная электродинамическая сепарация малых проводящих частиц // Письма в ЖТФ, 2008, том 34, вып. 3.

5. Федоров Ю.О. Пособие по рентгенометрической сепарации [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.rados.ru/>

References

1. Karmazin V.V., Karmazin V.I. Magnitnye i jelektricheskie metody obogashhenija poleznyh iskopaemyh: Uchebnik dlja vuzov [Magnetic and electric methods of mineral processing: The textbook for higher education institutions]. – Moscow, MGGU, 2005.
2. Solovjev L.P., Pronin V.A. Izvlechenie ferromagnitnyh materialov iz zoloshlakovyh othodov [Extraction of ferromagnetic materials of ash and slag waste] // Jekologija i promyshlennost' Rossii [Ecology and Industry of Russia], 2009, № 6.
3. Solovjev L.P., Bulkin V.V. Jelektromagnitnyj separator s pul'sirujushhim tokom [Electromagnetic separator with pulsed current] // Jekologija i promyshlennost' Rossii [Ecology and Industry of Russia], 2011, №7.
4. Dyakin V.I., Kozhevnikov V.Y., Kozirev A.V., Sochugov N.S. Impul'snaja jelektrodinamicheskaja separacija malyh provodjashhih chastic [Pulse electrodynamic separation of small conductive particles] // Pis'ma v ZhTF [Technical Physics Journal Letters], 2008, vol. 34, issue 3.
5. Fedorov Y.O. Posobie po rentgenoradiometricheskoj separacii [X-ray radiometric separation allowance] / <http://www.rados.ru/>