

И.И. ЧУМАЧЕНКО

(Украина, Донецк, ПрАО "Донецксталь" – Metallургический завод)

**НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОБРУДОВАНИЯ
ДЛЯ ФЛОТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ
МАТЕРИАЛОВ**

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В связи с тем, что в поступающем на обогатительные фабрики сырье содержится до 30% материала крупностью менее 1 мм, роль процесса флотации существенно возрастает. Этому способствует и возможность создания достаточно простых замкнутых водно-шламовых схем, включающих флотацию в качестве основного элемента очистки оборотных вод. Многими исследованиями, которые проводились ранее и продолжают выполняться и в настоящее время, установлены направления совершенствования этого достаточно сложного физико-химического процесса [1-6].

Применение флотации как процесса природоохранной технологии возможно при переобогащении относительно низкосоленых тонкозернистых отходов и шламов, складированных в занимающих большие площади илонакопительях и отстойниках. Переработка такого материала с целью доизвлечения горючей массы позволит улучшить экологическую обстановку и получить дополнительное количество топлива.

Анализ исследований и публикаций. В настоящее время получили довольно широкое распространение методы гравитационного обогащения для переработки части тонкозернистого материала, обогащавшегося ранее только флотацией. Выпускаемые за рубежом аппараты (гидросайзеры, винтовые сепараторы и др.) функционируют на отечественных обогатительных фабриках. Анализ работы установок показал их достаточно высокую эффективность при крупности исходного продукта выше 0,1-0,2 мм. Тем не менее основным способом обогащения более мелких частиц остается флотация.

В связи с вышеизложенным весьма актуальной задачей является совершенствование оборудования для флотационного обогащения тонкозернистых материалов на базе детального изучения особенностей свойств перерабатываемого сырья и процессов, происходящих в обогатительных машинах. [5].

Постановка задачи. Целью работы является обзор методов флотации тонкозернистых частиц и направлений совершенствования оборудования, которое для этого применяется на практике.

Изложение материала и результаты. Высокую селективность разделения флотацией имеют частицы с размером, который определяется степенью гидрофобности и удельным весом твердой фазы. Чистый уголь относится к материалам, обладающим высокой естественной гидрофобностью и низким удельным весом, что определяет широкий диапазон крупности успешно флотируемых зе-

Флотація

рен – от 45 мкм до 0,5 мм. Следует отметить, что количество частиц менее 45 мкм в питании флотации постоянно растет, достигая 50-70%. Последнее приводит к ухудшению качественно-количественных показателей обогащения. В связи с этим определение и снижение отрицательного влияния таких частиц на показатели флотации тонких шламов имеет большое значение, что подчеркивают и зарубежные исследователи [7, 8].

Образование на поверхности твердых частиц двойного электрического слоя (ДЭС) при их попадании в воду определяет особенности их поведения при флотации. Исследованиями установлено наличие на поверхности ионно-электростатической составляющей расклинивающего давления, которая особенно значительно проявляется в присутствии поверхностно-активных веществ, применяемых в промышленности. Полярные функциональные группы, входящие в состав макромолекул угля, способствуют росту расклинивающего давления. Взаимодействие фаз и реагентов осложняется и окисленностью поверхности частиц в результате контакта с растворенным в воде кислородом.

Кроме того, при разрушении и истирании угля при добыче, транспортировании и обогащении, на поверхности появляются разорванные молекулярные связи, выступающие активными центрами при взаимодействии с водой, что приводит к сложным электрохимическим взаимодействиям и повышению гидратированности поверхности. При этом тонкодисперсные частицы имеют значительную поверхность, на которой велика доля атомов, расположенных на ребрах и вершинах, имеющих нескомпенсированные связи и заряды. Для таких участков характерна повышенная способность к адсорбции и высокая степень гидратации. Свободная поверхностная энергия частицы неправильной формы определяется как [9]:

$$E = S\sigma + L\chi + \varepsilon N, \quad (1)$$

где S – площадь поверхности частицы; σ – удельная межфазовая энергия на границе раздела "жидкость-твердое"; L – длина ребер частицы; χ – линейное натяжение (энергия единицы длины ребра); ε – энергия вершин; N – количество вершин.

В соответствии с началами термодинамики свободная поверхностная энергия обеспечивает равновесное положение атомов (или молекул) на границе раздела фаз. Следовательно, для равновесия атомов на ребрах частиц (в двух плоскостях) требуется энергия меньшая, чем для обеспечения такого равновесия на вершинах, т.е. в трех плоскостях. Это значит, что удельная межфазовая энергия σ , энергия единицы длины ребра χ и энергия вершины ε являются взаимно связанными параметрами и должны изменяться симбатно. Для количественной оценки влияния энергии ребер и вершин в работе [9] предложено рассматривать ребро как очень узкую грань с микрошириной Δl и удельной свободной энергией e . Тогда энергия единицы длины ребра будет определяться как:

$$\chi = e \Delta l. \quad (2)$$

При этом можно определить, что длина ребер для тонких частиц, отнесенная к единице их объема, обратно пропорциональна квадрату диаметра зерна [4]. Следовательно, энергию ребер необходимо учитывать в случаях, когда их условная поверхность соизмерима с размерами граней, что имеет место при значительном уменьшении размеров частиц. Отсюда вытекает, что низкая флотуемость тонкодисперсных частиц непосредственно связана со свойствами и особенностями их поверхности.

Циркуляция частиц в замкнутых потоках водно-шламовой схемы и хранение в илонакопителях приводит к повышению степени гидратированности и изменению формы частиц, что в конечном счете снижает вероятность флотации [10].

Принято описывать вероятность флотационного разделения зерен произведением четырех вероятностей [3]. Для тонких частиц каждая из вероятностей, входящих в это произведение, гораздо меньше, чем для частиц с размером, характерным для успешной флотации. В фазе столкновения частицы с воздушным пузырьком вероятность столкновения низкая из-за малой инерции частиц, что не способствует преодолению вязкостного сопротивления жидкости и гидратных слоев на поверхности раздела фаз. Для рудных минералов установлен критический размер в 15, а для угольных – в 75 мкм при столкновении с пузырьком размером 1 мм только за счет сил инерции.

Для мелких частиц характерно закрепление при последующем скольжении по пузырьку, при этом в определенных условиях (при достижении критической толщины прослойки между фазами) начинают проявляться дальнедействующие межмолекулярные и электростатические силы, которые способствуют закреплению частицы при преодолении энергетического барьера. Однако величина этих сил пропорциональна размеру частиц и резко снижается при увеличении расстояния от поверхности.

Еще одним возможным механизмом закрепления является сближение и прижатие частиц к поверхности пузырька завихрениями пульпы в кормовой части пузырька.

Основные закономерности флотации изучены достаточно полно, получены эмпирические зависимости влияния различных факторов на процесс [11]. При этом следует отметить, что эти зависимости не позволяют учесть ряд параметров при разработке новых технологий флотации и машин для ведения процесса. Среди направлений повышения эффективности флотации тонких частиц можно выделить следующие:

- применение новых флотационных реагентов;
- использование эффективных способов подготовки пульпы к флотации и обработки твердой фазы реагентами;
- создание флотационных аппаратов с оптимальным гидравлическим и аэродинамическим режимом.

При этом следует стремиться к снижению себестоимости переработки угольных шламов, что исключает применение дорогостоящих и дефицитных в

Флотація

Украине флотационных реагентов, а также известных способов ультразвукового и термического диспергирования аполярных собирателей.

Обзор патентной информации ведущих стран позволил прийти к заключению, что исследования в области совершенствования аппаратов для ведения процесса флотации тонкодисперсных частиц направлены на создание колонных аппаратов. Прообразом этих машин были машины пенной сепарации, которые доказали свою эффективность при обогащении различного сырья, в том числе и угольных шламов. Одна из установок пенной сепарации длительное время работала на ЦОФ "Узловская", что позволяло предприятию снижать зольность крупнозернистого шлама, несмотря на имевшиеся конструктивные и технологические недостатки. Многие конструкции пенных сепараторов применяются для флотации калийных руд. Однако машина пенной сепарации имеет своей задачей обогащение крупных зернистых частиц. В последние годы увеличилось количество публикаций ученых США, Канады, Японии, Великобритании, ФРГ, Франции и России, освещающих опыт разработки и применения колонных флотомашин [2]. Именно колонная машина предназначена для флотации частиц с размером менее 100 мкм.

От существующих типов машин колонные аппараты принципиально отличаются противоточным движением пульпы и пузырьков воздуха и соотношением геометрических размеров (высота значительно больше диаметра), откуда и происходит название машины. Это обеспечивает ряд преимуществ, к основным из которых следует отнести низкую интенсивность перемешивания пульпы и расход электроэнергии, повышенную селективность флотации, компактность камеры, эффективное использование производственных площадей и объемов [2]. Первая флотационная колонна была разработана П. Бутиным и Р. Тремблем в Канаде, принципиальная схема машины показана на рисунке.

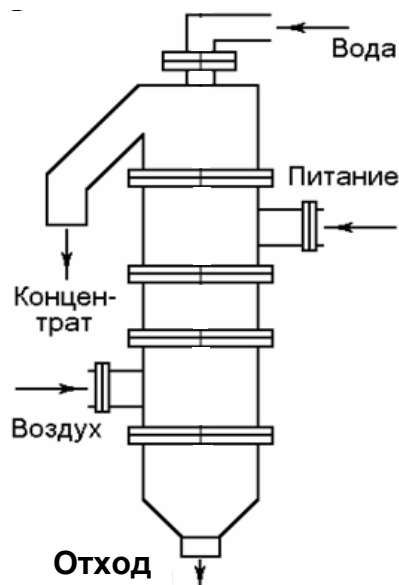


Схема колонной флотационной машины

Разработаны различные конструкции колонных аппаратов. Систематиза-

ция разновидностей позволила объединить их в несколько типов.

Ряд конструкций по принципу действия похож на многоподовый аппарат кипящего слоя с решетками, снижающими скорость перемещения пузырьков в рабочей зоне. Это позволяет вести фракционную флотацию, что дает возможность реализовать разные технологические схемы и многократно использовать воздух в колонне.

Другой тип предполагает наличие в колонне успокоителей, разделяющих камеру на несколько зон, соединенных между собой каналами сложной конфигурации или трубками, что также снижает скорость движения пузырьков. Установка обтекателей повышает эффективность флотации, но снижает эффективный объем камеры и производительность машины. Исследования показали, что рационально использование успокоителей в виде сетчатых цилиндров с отверстиями размером 2 мм. Установка перфорированных пластин в различных сечениях колонны позволяет увеличить время пребывания частиц в аппарате, обеспечить более тесный контакт тонких частиц с воздушными пузырьками. При использовании пластин с нарифлениями между рифлями возникают микротурбулентности, что повышает извлечение гидрофобных частиц в пенный продукт.

Результаты исследований, опубликованные в работе [2], позволяют считать наиболее целесообразной установку в зоне минерализации колонны вертикальных решетчатых успокоителей, разделяющих машину на ячейки.

К недостаткам многих конструкций относится отсутствие возможности изменения гидродинамического режима при колебаниях состава питания.

Основным направлением совершенствования конструкций признана оптимизация гидродинамического режима внутри колонны – скорости движения пузырьков вверх в объеме пульпы и их дисперсности. Это способствует обеспечению условий, необходимых для повышения вероятности флотации труднофлотируемых тонких частиц.

Выводы и направления дальнейших исследований. Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

– одним из основных направлений интенсификации обогащения тонкодисперсных частиц является создание флотационных аппаратов с оптимальными аэрогидродинамическими характеристиками;

– перспективным видом оборудования для флотации являются колонные аппараты, совершенствование которых должно быть направлено на снижение динамических воздействий на флотационные комплексы и улучшение конструкции диспергаторов воздуха.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на изучение гидродинамических режимов в колонных аппаратах и разработку условий для их оптимизации.

Список литературы

1. Глембоцкий В.А., Классен В.И. Флотационные методы обогащения. – М.: Недра, 1981. – 304 с.

Флотація

2. Пенная сепарация и колонная флотация. / Ю.Б. Рубинштейн, В.И. Мелик-Гайказян, Н.В. Матвеевко и др. – М.: Недра, 1989. – 304 с.
3. Теория и технология флотации руд. / О.С. Богданов, И.И. Максимов, А.К. Поднек и др. Под общей ред. О.С. Богданова. – М.: Недра, 1990. – 364 с.
4. Особенности флотации и обезвоживания тонкодисперсных углесодержащих материалов. / Е.Е. Гарковенко, Е.И. Назимко, А.И. Самойлов и др. – Донецк: Норд-Пресс, 2002. – 266 с.
5. Интенсификация процесса флотации углей путем совершенствования конструкции флотационных машин механического типа / И.П. Курченко, Л.А. Морозова, Г.А. Мавренко и др. // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн.зб. – 2005. – Вип. 22(63). – С. 70-75.
6. Kinetics of Phases Interaction during Mineral Processing Simulation / L.I. Nazimko, E.E. Garkovenko, A.N. Corchevsky & al // Proceedings of XV International Congress of Coal Preparation. – China, 2006. – P. 785-798.
7. Ralston J. The Critical Role of Interfacial Chemistry in Bubble-Particle Capture // Proceedings of XXII International Mineral Processing Congress. South Africa. – 2003. – P. 107-116.
8. Moudgil V.M., Brown S.C., Vakarelski I.U. Influence of Nanoscale Roughness on Flotation // Min. Engineering. – 2000. – Vol. 10. – P. 647-653.
9. Русанов А.И. Фазовые равновесия и поверхностные явления. – Л.: Химия, 1967. – 388 с.
10. Саранчук В.И., Аровин И.А., Галушко Л.Я. Флотирование углей реагентами из продуктов коксохимии. – Донецк: Східний видавничий дім, 2006. – 192 с.
11. Аровин И.А., Саранчук В.И. Полный факторный эксперимент по изучению процесса флотации // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2005. – Вип. 21(62). – С. 55-63.

© Чумаченко И.И., 2012

*Надійшла до редколегії 25.04.2012 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. В.С. Білецьким*