

зв'язку у кластері і збільшення їх кількості для базових станцій, які знаходяться в зоні стихійного лиха.

Список літератури

1. Muhammet S. Gulum, Susan L. Murray, Ph.D. P.E. Evaluation of the Effectiveness of a Mass Emergency Notification System. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 2014, doi: 10.1177/154193120905301863
2. Alessio Malizia, Teresa Onorati, Andrea Bellucci, Paloma Diaz, Ignacio Aedo. Interactive Accessible Notifications for Emergency Notification Systems. Universal Access in Human-Computer Interaction – Applications and Services. Proceedings of the 5th International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction, 2015, Part III, pp.385, doi:10.1007/978-3-642-02713-0_41
3. Sih-Ting Zeng, Ching-Min Lee. Personal emergency notification application design for mobile devices. 2014 International Symposium on Next-Generation Electronics (ISNE), 2014, doi: 10.1109/ISNE.2014.6839378
4. Ryan Scott Rodkey, John Frank Rodkey, David Lynn Hickey, Darren Lynn Ross, Ronald Frank Ramsey, Digital notification and response system. Patent RF, no: US7685245B1,2014
5. Guy Miasnik, Aviv Siegel, Predictive alert targeting for mass notification systems. Patent RF, no: US8542117B1,2016
6. Kimberly Zeitz, Randy Marchany, Joseph Tront "Speed isn't Enough: Usability and Adoption of an Optimized Alert Notification System", Technology and Society Magazine IEEE, 2016, vol. 35, no. 1, pp. 47-55.
7. Tae Hyung Kim, Ji In Chae, Do Nyun Kim, Next generation architecture examination for Mass Notification System(MNS) collaborating with CCTV for Smart & Safe City. Journal of Engineering Research and Applications www.ijera.com ISSN : 2248-9622, Vol. 5, Issue 3, Part -3 March 2015, pp.39-45
8. Mohammed Ghazal, Samr Ali, Marah Al Halabi, Nada Ali, Yasmina Al Khalil. Smart Mobile-Based Emergency Management and Notification System. IEEE 4th International Conference on Future Internet of Things and Cloud Workshops (FiCloudW), 2016, doi: 10.1109/W-FiCloud.2016.64
9. **Арутюнян В.Е.** Сучасна клієнт-серверна модель програмного комплексу масового оповіщення у надзвичайних ситуаціях // Матеріали Другої міжнародної науково-технічної конференції "Комп'ютерні та інформаційні системи та технології". Харків.: ХНУРЕ, 2018. – С.69-71
10. **Ромашкова О.Н., Дедова Е.В.** Живучість безпроводних мереж зв'язи в умовах надзвичайної ситуації // Т-Comm: Телекомунікації и Транспорт, – 2014. – №6 – С.40-43

Рукопис подано до редакції 10.04.2018

УДК 622.7: 534

Г.В. ГУБИН, д-р техн. наук, проф., Криворожский национальный университет
В.О. РАВИНСКАЯ, начальник Испытательного центра ЧАО «Полтавский ГОК»
Г.Г. ГУБИН, В.В. ТКАЧ, кандидаты техн. наук, доценты
Криворожский национальный университет

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ МИНЕРАЛЬНЫХ ЧАСТИЦ И ИХ ОЧИСТКА

Целью работы является установление закономерности дезинтеграции техногенных сростков и флокул при магнитно-флотационном обогащении магнетитовых кварцитов за счет использования высокоэнергетического ультразвука в кавитационном режиме.

Методы исследования. Использован комплекс методов которые включали: рентгенофазовый и минеральный анализы продуктов обогащения кварцитов, измерение электрокинетического потенциала поверхности минералов; гранулометрический анализ, лабораторные исследования влияния действия электрохимической и ультразвуковой обработки на продукты обогащения магнетитовых кварцитов.

Научная новизна. В отличие от имеющихся положений об образовании техногенных сростков в операциях тонкого измельчения руд, установлено, что применение вертикальных мельниц приводит к обратному явлению - частичного оттирания поверхности минералов от посторонних наслоений вследствие замены в этих мельницах ударных нагрузок истирающими тангенциальными силами разрушения, что позволяет разработать технологию переработки пенных продуктов, получаемых в процессе флотационной доводки магнетитовых концентратов.

Впервые для дезинтеграции рудных флокулообразований и техногенных сростков перед флотационным обогащением разработан метод предварительной обработки железорудной пульпы, основанный на возникновении кавитационных процессов в воздушном пузырьке с помощью динамических эффектов высокоэнергетического ультразвука, что позволяет увеличить эффективность очистки от шламовых частиц поверхностей минералов питания флотации концентратов магнитной сепарации в 1,8 раза.

Практическое значение. Исследование процессов образования техногенных сростков и обработка их высокоэнергетичным ультразвуком позволяет улучшить технико-экономические показатели флотационной доводки магнетитовых концентратов при обогащении весьма тонковкрапленных железистых кварцитов, а также снизить K_2O и Na_2O в готовом продукте. Последнее очень важно, т.к. калий и натрий снижают прочность окатышей при низкотем-

пературном восстановлении их в доменных печах, что приводит к увеличению расхода кокса и снижению производительности печей.

Актуальность. К железорудным концентратам предъявляются высокие требования к их качеству, т.к. от этого зависят технико-экономические показатели работы металлургических агрегатов и возможность успешной реализации сырья на мировом рынке.

Результаты. Установлено, что электрохимическая и ультразвуковая обработка пульпы при обогащении магнетитовых кварцитов приводит к повышению качественно-количественным технологических показателей процесса и может быть использована для дальнейших укрупнённых исследований.

Ключевые слова: железистые кварциты, электрохимическая и ультразвуковая обработка пульпы при обогащении руды, техногенные сростки, очистка поверхности минеральных частиц от загрязнений.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-104-27-31

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Повышение качества концентрата и окускованого продукта, направляемого в металлургический передел, является одной из основных задач обогащения железных руд.

Исследования промпродуктов и конечных концентратов ГОКов показало, что после измельчения в барабанных шаровых мельницах и разделении частиц в магнитных сепараторах не удаётся получать чистые зёрна железосодержащих минералов и пустой породы. Основной причиной считалось наличие тонкой вкрапленности в минералах, механический захват пустой породы в магнитные флоккулы, снижение эффективности обогащения с увеличением тонины помола. Однако даже при измельчении крупнозернистых руд не выделяются свободные зёрна минералов. Одной из причин этого является загрязнение поверхности раскрываемых минералов шламистыми частицами, т.е. образование техногенных сростков [1-4].

Анализ исследований и публикаций. В ряде научных исследований показано, что поверхность крупных зёрен покрыта частицами других минералов размером (0,1-8) мкм, которые образуются в процессе измельчения, в магнитных полях сепараторов, в гидродинамических потоках классифицирующих и обогатительных аппаратов. Микроскопический анализ продуктов измельчения показывает, что поверхность крупных зёрен покрыта частицами в основном 0,2-0,4 мкм. Продукты разделения пульпы в гидроциклонах содержат техногенные сростки размером 5-8 мкм. Концентраты магнитного обогащения содержат конгломераты частиц крупностью 2-5 мкм.

Электронно-микроскопические исследования поверхности показали, что крупность шламистых частиц, закрепляющихся на поверхности минералов после измельчения, не превышает (0,5-1) мкм. Массовая доля этих частиц на поверхности крупных зёрен достаточна, чтобы существенно ухудшить качество продуктов разделения, а также изменить их технологические свойства [5, 6].

Процесс образования техногенных сростков связан с возникновением в измельчительных, обогатительных и классифицирующих аппаратах комбинации различных силовых полей, создающих условия для интенсивного взаимодействия поверхностей минералов. Такие покрытия относятся к классу «плёночных», механизм образования которых связан, в основном, с наличием на поверхности частиц ионно-электростатических и молекулярных силовых полей. О необходимости учёта при анализе этого явления физико-химических свойств минералов и жидкой фазы пульпы отмечается в [7, 8].

Постановка задачи. Одним из параметров, определяющих характер и степень взаимодействия дисперсных частиц в жидкостях (пульпа обогатительных фабрик), является величина и знак заряда поверхности минералов – дзета-потенциал (ζ) [9].

Этот параметр зависит от электрохимической характеристики пульпы, наличия и концентрации в ней ионов, физико-химического состояния и текстуры поверхности минералов, характер разрушения мономинеральных фракций в процессе измельчения и др. Среди различных способов воздействия на пульпу (с целью измельчения электрохимических свойств поверхности минералов) является электрохимическая обработка (ЭХО). Изучением и применением электрохимической обработки занимались многие исследователи, опубликовано значительное количество работ. Фундаментальные работы в этом направлении связаны с именем академика В.А.Чантурия и его сотрудников [10-12].

Экспериментальные исследования с частицами минералов железосодержащих руд выявили один из механизмов интенсификации процесса магнитной сепарации при использовании ЭХО

[13]. Он обусловлен растворением гидроксидной плёнки на поверхности минералов, а также восстановлением трёхвалентного железа до двухвалентного и появления микроскопического поверхностного слоя с повышенными магнитными свойствами. Вторым немаловажным следствием действия электрического тока в процессе ЭХО является изменение параметров молекулярно-электростатического взаимодействия частиц минералов в различной крупности в пульпе обогатительных и измельчительных аппаратов. Имеются данные о положительном влиянии ЭХО перед измельчением. Предварительная катодная обработка перед измельчением в барабанной мельнице положительно влияет на показатели последующей магнитной сепарации [14].

Согласно физической теории взаимодействия частиц в жидких фазах общая энергия взаимодействия двух частиц W_t представляет собой сумму энергий взаимодействия двойных электрических слоёв W_R и молекулярных сил сцепления W_A . Величина W_R зависит от знака и величины дзета-потенциала поверхности частиц и расстояния между ними. Вторая составляющая общей энергии взаимодействия частиц W_A обратно пропорциональна расстоянию между взаимодействующими поверхностями.

Изложение материала и результатов. Проведённые нами измерения показали, что дзета-потенциал основных минеральных частиц (магнетита, гематита и кварца) при обогащении магнетитовых кварцитов колеблется от -18,1 до -22,0 мВ и зависит от концентрации солей жёсткости в жидкой фазе пульпы, снижаясь с повышением жёсткости оборотной технической воды (табл. 1).

Установлено, что снижение дзета-потенциала частиц менее 12-15 мВ приводит к интенсивной их коагуляции в гравитационном силовом поле.

Таблица 1

Минерал	Дистиллированная вода	Водопроводная вода	Техническая вода
Магнетит	-38,2	-29,1	-20,5
Кварц	-53,4	-36,2	-25,0

Катодная обработка кратковременно повышает значение дзета-потенциала до -(40 -80) мВ. Действие ЭХО пульпы сохраняется в течение сравнительно продолжительного времени, снижаясь через 20 минут на (70-80) %, а в течение первых 1-5 секунд на (15-20) %. Длительность сохранения действия ЭХО после контакта с электродом достаточна для обеспечения величин энергетического барьера между частицами в измельчительных и обогатительных аппаратах.

Исследования налипания тонкодисперсных частиц на поверхности сравнительно крупных зёрен проводились с использованием шаровой лабораторной мельницы для ЭХО. Крупными зёрнами считали класс (-0,1+0,04) мм, а шламистыми частицами – минус 0,02 мм.

Чистота мономинеральных фракций составляла: кварца- (98,2±0,04) %, магнетита- (98,1±0,03) %.

Экспериментальные исследования показали, что поверхность загрязняется оксидами железа после совместного измельчения. Массовая доля $Fe_{общ}$ в кварцевом продукте повышается с 0,13 % до 0,67 % после измельчения с магнетитом и до 0,9 % после измельчения с гематитом (табл. 2).

Таблица 2

Массовая доля SiO_2 и $Fe_{общ}$ на крупных зёрнах до и после совместного измельчения, %

Минерал	До обработки УЗВ*	После обработки УЗВ
Кварц - 0,1+0,04 мм массовая доля $Fe_{общ}$		0,11±0,03
Магнетит -0,1+0,04мм массовая доля SiO_2		0,52±0,1
Гематит -0,1+0,04мм массовая доля SiO_2		0,75±0,1
Измельчение в мельнице без электровоздействий		
Измельчение кварца с магнетитом ($Fe_{общ}$)	0,67±0,04	0,41±0,03
Измельчение кварца с гематитом ($Fe_{общ}$)	0,90±0,05	0,67±0,06
Измельчение магнетита с кварцем (SiO_2)	8,64±0,4	0,43±0,35
Измельчение гематита с кварцем (SiO_2)	13,44±0,5	10,68±0,1
Измельчение с электровоздействием		
Измельчение кварца с магнетитом ($Fe_{общ}$)	0,42±0,08	0,22±0,05
Измельчение кварца с гематитом ($Fe_{общ}$)	0,62±0,07	0,52±0,05
Измельчение магнетита с кварцем (SiO_2)	3,28±0,4	±0,35
Измельчение гематита с кварцем (SiO_2)	7,73±0,1	4,72±0,1

*УЗВ – ультразвуковое воздействие

Катодная обработка в мельнице уменьшает степень загрязнения кварца на (31,1-37,3) %, а также снижает загрязнение магнетитовых и гематитовых частиц кварцем.

Ультразвуковая обработка продуктов измельчения позволяет получить более чистые зёрна кварца, измельченные в мельнице с ЭХО. Массовая доля $Fe_{общ}$ на кварце снижалась при этом до (0,22-0,52) % (абс).

Аналогичные результаты получены при измельчении зёрен магнетита и гематита с кварцем, массовая доля SiO_2 в магнетитовом и гематитовом продуктах возрастает после совместного измельчения с кварцем с 0,54 % и 0,72 % до 8,64 % и 13,44 % соответственно. Загрязнение минеральных зёрен железа шламистыми кварцевыми частицами при измельчении происходит значительно более интенсивно, чем при обратном процессе. Кроме того, степень загрязнения гематита выше, чем магнетита. Электровоздействия значительно снижают степень налипания кварцевых шламистых частиц на поверхности крупных зёрен магнетита и гематита. Массовая доля SiO_2 на поверхности магнетитовых и гематитовых частицах снижается в 2,64 и 1,74 раза соответственно. Прочность закрепления кварца после измельчения в мельнице с электровоздействиями ниже, чем после измельчения в обычной мельнице.

Различие в силе закрепления дисперсных частиц магнетита и гематита на кварце и их количество с использованием ЭХО объясняется следующим образом. Значения молекулярных сил притяжения при соприкосновении кристаллических решёток кварца и гематита выше вследствие подобия геометрий и периодов их кристаллических решёток и образования при измельчении ряда плоскостей с одномерным и двумерным геометрическим подобием [15]. Магнетит по геометрии и параметрам кристаллической решётки менее подобен кварцу. Поэтому, в этом случае электростатические силы отталкивания при взаимодействии частиц проявляются более существенно и прочность закрепления ниже.

В современных барабанных шаровых мельницах образование техногенных сростков происходит в результате преобладания ударных нагрузок над другими видами силовых воздействий. В настоящее время для измельчения руды всё большее распространение получают вертикальные мельницы, где в основном преобладает истирающая нагрузка. В этих мельницах происходит оттирка; частичная дефлокуляция механическим воздействием. Высокая эффективность оттирки показана в работе П.И.Пилова.

Однако даже после оттирки в вертикальной мельнице в последующих за измельчением операциях тонкоизмельчённый продукт подвергается воздействию гидромеханических и магнитных полей, что приводит к взаимному налипанию минеральных частиц и повторному образованию техногенных сростков. Разрушение последних требует дополнительных физико-химических воздействий, например, таких, как ультразвук и электрохимическая обработка. На рисунке приведены электронно-микроскопические снимки материала проб питания флотации Полтавского ГОКа до и после обработки ультразвуком.

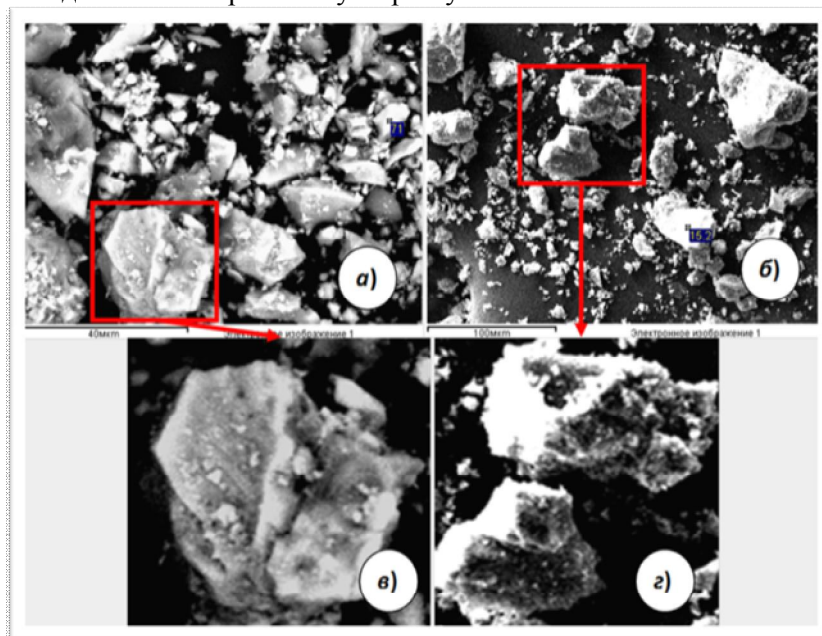


Рис. Электронные фотографии проб продукта питания флотации без УЗО (а) и после УЗО (б)
в, г – частица кварца в материале до и после УЗО

Показано, что сравнительно крупные частицы кварца покрыты тонкодисперсными частицами магнетита нерудных минералов. Применение ультразвуковой обработки диспергирует продукт и эффективно очищает поверхность частиц. Обработанное ультразвуковыми воздействиями питание флотации улучшает условия флотации и эффективность разделения.

Выводы. Таким образом, при тонком и весьма тонком измельчении руд создаются условия образования техногенных сростков для эффективного разрушения которых необходимо применять физические и физико-химические воздействия, например, ультразвук и электрохимическую обработку.

Список литературы

1. Губин Г.В., Ткач В.В., Орел Т.В., Плотников В.В. Особенности загрязнения поверхности минералов в процессе измельчения / Г.В.Губин, В.В. Ткач, Т.В. Орел, В.В. Плотников // Вісник Криворізького технічного університету, 2005. – Вып. 7. – С. 77-82.
2. Влияние минерального состава нерудной среды железистых кварцитов и степени минерализации воды на качество концентратов / Х.У.Ковальчук, М.В.Педан, А.Я.Гоц, Л.В.Свердлова // Обогащение руд черных металлов. М.: Недра, 1981. Вып. 10. - С.55-66.
3. Грицай Ю.Л., Педан М.В., Герасимова З.Ф., Безверхняя И.П. Исследование по закреплению дисперсных рудных минералов на поверхности кварца при измельчении железистых кварцитов // Обогащение руд черных металлов. М.: «Недра», 1980. - Вып. 9.- С.3-9.
4. Богданова И.П., Грицай Ю.Л., Удовенко Р.Г. Применение ультразвуковой обработки пульпы для интенсификации процесса магнитной сепарации окисленных кварцитов// Минчермет СССР. Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований чёрной металлургии. Экспресс-информация. Серия 2 – 1977. Вып. №4.-С.18-22.
5. Ревнивцев В.И., Дмитриев Ю.Г. Ультразвуковое обогащение минералов, покрытых поверхностными загрязняющими примесями// Применение ультразвука в машиностроении: Сб. докл. на 4-й ежегодной научно-технической конференции. М. – 1963. – С 74-82.
6. Келлер О.К., Каргыш Г.С., Лубяницкий Г.Д. Ультразвуковая очистка. – Л.: Машиностроение, 1977. – 184 с.
7. Пилов П.И. Повышение качества магнетитовых концентратов путем механической обработки // Горный журнал, 1999.– №6.– С.30-32.
8. Дмитриев Ю.Г. Изучение некоторых закономерностей процесса ультразвуковой очистки минералов: Автореферат дисс. – Свердловск, 1967.
9. Классен В.П., Недогоров В.И., Дебердеев И.Х. Шламы во флотационном процессе. – М.: «Недра», 1969.– 245 с.
10. Чантурия В.А., Назарова Г.И. Электрохимическая технология в обогатительно-гидрометаллургических процессах. – М.: Наука, 1977. - 160 с.
11. Чантурия В.А., Дмитриев Г.М., Трофимова Э.А. Интенсификация обогащения руд сложного вещественного состава. _ М.: Наука, 1988.–185с.
12. Чантурия В.А. Электрохимическая технология в процессах первичной переработки минерального сырья// Новые процессы в комбинированных схемах обогащения полезных ископаемых.– М.: Наука. Тр. ИПКОН, 1989.–С. 119-127.
13. Гзгоян Т.Н. К вопросу применения физических полей для руд Михайловского ГОКа // Развитие идей И.Н. Пласина в области обогащения полезных ископаемых и гидрометаллургии: Тезисы докл. юбил. Плак. чтений. М., 2000.
14. Гзгоян Т.Н. Опыт применения энергетических воздействий при рудоподготовке и обогащении железистых кварцитов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 2002. – №2. – С.98-113.
15. Мейер К. Физико-химическая кристаллография. –М.: Недра, 1984. – 161 с.

Рукопись поступила в редакцию 06.04.2018

УДК 622.235:622.271

А.А. СКАЧКОВ, гірн. інж., ПАТ «Північний ГЗК»

Д.А. ТІТОВ, студ., С.О. ЖУКОВ, д-р техн. наук, проф., Криворізький національний університет

РОЗВИТОК МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ВИБУХУ ПАРИ СВЕРДЛОВИННИХ ЗАРЯДІВ З УРАХУВАННЯМ СУПЕРПОЗИЦІЇ ХВИЛЬ

Мета. Основною метою дослідження є моделювання взаємодії свердловинних зарядів, які підриваються попарно. При цьому проаналізовано особливості суперпозиції вибухових хвиль в залежності від послідовності відривання цих зарядів. Воно присвячене вирішенню актуальної проблеми – зниженню питомої витрати вибухових речовин для руйнування гірських порід.

Методи дослідження. Аналіз геомеханічних процесів математичним моделюванням динамічного напруження породного масиву вибухом на відкритих розробках.