

<https://doi.org/10.15407/geotech2019.29.082>

УДК 622.7 : 621.7

Губина В.Г., Равинская В.О., Губин Г.Г.

Губина В.Г., канд. геол.-мин. н. с. н. с., вед. н. с., ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», gvg131619@gmail.com

Равинская В.О., ЧАО «Полтавский ГОК», начальник Испытательного центра, vita.ravinskaya@mine.ferrexpo.com

Губин Г.Г., канд. техн. наук, доцент, Криворожский национальный университет, gennadiy.gubin@gmail.com

ОЧИСТКА ПОВЕРХНОСТИ МИНЕРАЛЬНЫХ ЗЕРЕН ОТ ШЛАМИСТЫХ ЧАСТИЦ УЛЬТРАЗВУКОВЫМИ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМИ СПОСОБАМИ

Целью работы является установление влияния электрохимической обработки пульпы и высокоэнергетического ультразвука в кавитационном режиме на дезинтеграцию техногенных агрегатов и флокул при магнитно-флотационном обогащении магнетитовых кварцитов. В отличие от имеющихся положений об образовании техногенных агрегатов в операциях тонкого измельчения руд, установлено, что применение вертикальных мельниц приводит к обратному явлению – частичному оттиранию поверхности минералов от посторонних наслоений вследствие замены в этих мельницах ударных нагрузок истирающими тангенциальными силами разрушения, что позволяет разработать технологию переработки ценных продуктов, получаемых в процессе флотационной доводки магнетитовых концентратов.

Впервые для дезинтеграции рудных флокулообразований и техногенных агрегатов 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 и концентратов магнитной сепарации в 1,8 раза. Исследование процессов образования техногенных агрегатов 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 низкотемпературном восстановлении их в доменных печах, что приводит к увеличению расхода кокса и снижению производительности печей. Установлено, что электрохимическая и ультразвуковая обработка пульпы при обогащении магнетитовых кварцитов приводит к повышению качественно-количественных технологических показателей процесса и получения более высококачественного концентрата.

Ключевые слова: железистые кварциты, электрохимическая и ультразвуковая обработка, техногенные агрегаты, очистка поверхности минеральных частиц.

Вступление

К качеству железорудных концентратов предъявляются все более высокие требования, т.к. от этого зависят технико-экономические показатели работы металлургических агрегатов и возможность успешной реализации сырья на мировом рынке. Поэтому повышение качества концентрата и окускованого продукта, направляемого в металлургический передел, является одной из основных задач обогащения железных руд.

Исследования промпродуктов и конечных концентратов горно-обогатительных комбинатов (ГОКов) показало, что после измельчения в барабанных шаровых мельницах и разделения частиц в магнитных сепараторах не удаётся получать чистые зёрна железосодержащих и нерудных минералов. Основными причинами считалось наличие тонкой вкрапленности в минералах, механический захват кварцевых и силикатных частиц в

магнитные флокулы, снижение эффективности обогащения с увеличением тонины помола. Однако даже при измельчении крупнозернистых руд не выделяются свободные зёрна рудных минералов. Одной из причин этого является загрязнение поверхности раскрываемых минералов шламистыми частицами, т.е. образование техногенных агрегатов и флокул [1,2,3,4].

Анализ исследований и публикаций

В ряде научных исследований показано, что поверхность крупных зёрен магнетита покрыта частицами нерудных 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 основ-

ном, 0,2-0,4 мкм. Продукты разделения пульпы в гидrocиклонах содержат техногенные агрегаты размером 5-8 мкм. Концентраты магнитного обогащения содержат агрегаты частиц крупностью 2-5 мкм. Массовая доля этих частиц на поверхности крупных зёрен достаточна, чтобы существенно снизить качество продуктов разделения и изменить их технологические свойства [5,6].

Процесс образования техногенных агрегатов в процессе обогащения сырья связан с возникновением в измельчительных, обогатительных и классифицирующих аппаратах комбинации различных силовых полей, создающих условия для интенсивного взаимодействия поверхностей минералов, при котором образуются «плёночные» покрытия. Механизм образования «плёнок» связан в основном с наличием на поверхности частиц ионно-электростатических и молекулярных силовых полей. Необходимость учёта физико-химических свойств минералов и жидкой фазы пульпы при анализе этого явления отмечается в работах [7, 8].

Постановка задачи. Одним из параметров, определяющих характер и степень взаимодействия дисперсных частиц в жидкостях, в данном случае пульпе 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, характера разрушения мономинеральных фракций в процессе измельчения и др. Одним из способов воздействия на пульпу, с целью изменения поверхностных свойств минералов, является электрохимическая обработка (ЭХО).

Изучением и применением электрохимической обработки при обогащении руд занимались многие исследователи, опубликовано значительное количество работ. Фундаментальные работы в этом направлении связаны с именем акад. В.А. Чантурия и его коллег [10, 11, 12].

Один из механизмов интенсификации процесса магнитной сепарации при использовании ЭХО описан в работе [13]. Он обусловлен растворением гидрооксидной 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 различной крупности в пульпе обогатительных и измельчительных аппаратов. Имеются данные о положительном влиянии ЭХО перед измельчением. Предварительная катодная обработка пульпы 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.

Целью работы является установление влияния электрохимической обработки (ЭХО) пульпы и высокоэнергетического ультразвука в кавитационном режиме на дезинтеграцию техногенных агрегатов и флокул при магнитно-флотационном обогащении магнетитовых кварцитов.

Методы исследования. Использован комплекс методов, включающий 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.

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 (таблица 1).

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

Катодная обработка повышает значение дзета-потенциала до 40-80 мВ. Воздействие ЭХО на пульпу 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.

Таблица 1. Электрокинетический потенциал поверхности минералов в воде различной жесткости, мВ

Table 1. Electrokinetic potential of the surface of minerals in water of various hardness, mV

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

Исследования по воздействию ЭХО на процесс налипания тонкодисперсных частиц на поверхность сравнительно крупных зёрен проводились с использованием шаровой лабораторной мельницы. Крупными зёрнами считали класс $-0,1+0,04$ мм, а шламистыми частицами класс $-0,02$ мм. Чистота мономинеральных фракций составляла: кварца - $98,2\pm 0,04\%$, та - $98,1\pm 0,03\%$.

Экспериментальные исследования показали, что поверхность зерен загрязняется оксидами железа при совместном измельчении. 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. В таблице 2 приведены результаты воздействия на пульпу УЗВ и ЭХО с целью очистки поверхности зерен.

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 зёрен железосодержащих минералов шламистыми кварцевыми частицами при измельчении происходит значительно интенсивнее, чем кварцевых частиц оксидами железа. 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 частиц 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.

Таблица 2. Массовая доля SiO_2 и $Fe_{общ}$ на крупных зернах до и после совместного измельчения, %

Table 2. Mass fraction of SiO_2 and $Fe_{gen.}$ on the large grains before and after co-grinding, %

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

*УЗВ – ультразвуковое воздействие

В современных барабанных шаровых мельницах образование техногенных агрегатов происходит в результате преобладания ударных нагрузок над другими видами силовых воздействий. Измельчение руд является наиболее энергозатратным в процессе обогащения сырья. Так, в США для этой цели тратится 2% от всей производимой энергии в стране. А энергоэффективность её использования для образования новой поверхности составляет не более 1% . 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 П.И. Пиловым [7].

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 агрегатов. Разрушение последних требует дополнительных физико-химических воздействий, например, таких как ультразвук и электрохимическая обработка. В США ещё в 80-х годах про-

шлого столетия лабораторией «BATELLColumbus» компании «BATELLdevelopmentcorporation» были проведены исследования по комбинированной технологии разрушения руды, включающей электродробление и ультразвуковую дезинтеграцию. Такая технология позволяет производить селективное разрушение руды, т.е. по границам срастания минеральных частиц, что обеспечивает уменьшение шламообразования, а значит и снижение возможности возникновения техногенных агрегатов.

Нами для разрушения техногенных агрегатов и очистки поверхности зёрен применялись как обработка электрическим током, так и ультразвуковое воздействие на железорудную пульпу, а также комбинация этих способов. На рисунке приведены электронно-микроскопические снимки материала проб питания флотации Полтавского ГОКа до и после обработки ультразвуком.

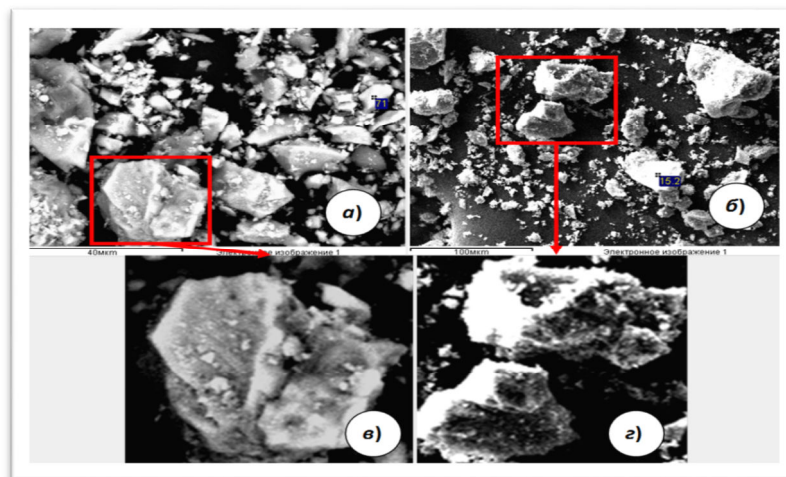


Рис. 1. Электронные фотографии проб продукта питания флотации без УЗВ (а) и после УЗВ (б), е, з – частица кварца в материале до и после УЗО
Fig.1 Electronic photos of feed flotation samples before (a) and after the ultra sonic treatment (б), е, з - quartz particle in the material before and after ultra sonic treatment

Показано, что сравнительно крупные частицы кварца покрыты тонкодисперсными частичками магнетита. Применение ультразвуковой обработки диспергирует продукт и эффективно очищает поверхность частиц минералов питания флотации и концентратов магнитной сепарации в 1,8 раза, а также позволяет снизить K_2O и Na_2O в готовом продукте. Последнее очень важно, т.к. калий и натрий снижают прочность окатышей при низкотемпературном восстановлении их в доменных печах, что приводит к увеличению расхода кокса и снижению производительности печей.

Обработанное ультразвуковыми воздействиями питание флотации улучшает условия флотации и эффективность разделения.

Выводы.

Проведенные экспериментальные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. Дзета-потенциал основных минеральных частиц при обогащении магнетитовых кварцитов снижается с повышением жесткости технической воды.
2. Снижение дзета-потенциала частиц до менее 12-15 мВ приводит к интенсивной их коагуляции в гравитационном силовом поле.
3. Электрохимическая обработка пульпы повышает значение дзета-потенциала до 40-80 мВ, что спо-

собствует значительному снижению степени налипания кварцевых шламистых частиц на поверхности крупных зёрен магнетита и гематита

4. Применение ультразвуковой обработки диспергирует продукт и эффективно очищает поверхность частиц минералов питания флотации и концентратов магнитной сепарации, а также позволяет снизить K_2O и Na_2O в готовом продукте, что существенно влияет на прочность окатышей при последующем окомковании концентрата.

Таким образом, ультразвуковое и электрохимическое воздействия на продукты обогащения позволяют улучшить технологические показатели переработки железистых кварцитов и получение более высококачественного концентрата.

Литература

1. Губин Г.В., Ткач В.В., Орел Т.В., Плотников В.В. Особенности загрязнения поверхности минералов в процессе измельчения. 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 кварци-

тов.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. Плаксина в области обогащения полезных ископаемых и гидрометаллургии: Тезисы докл. юбил. Плаксинские чтения. 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.

Reference

1. GubinG.V., TkachV.V., OrelT.V., PlotnikovV.V. (2005), *VIsnikKrivorizkogotekhnichnogouniversitetu.* – Вып. 7, KriviyRig, UA, pp. 77 - 82.

2. H.U.Kovalchuk, M.V.Pedan, A.Ya.Gots, L.V.Sverdlova, (1981), *Obogaschenierudchernyihmetallov*, Вып. 10, Moskow, Ru, pp. 55 – 56.

3. GritsayYu.L., PedanM.V., GerasimovaZ.F., BezverhnyayaI.P. (1980), *Obogaschenierudchernyihmetallov*, Вып. 10, Moskow, Ru, p. 9.

4. Bogdanova I.P., Gritsay Yu.L., Udoenko R.G. (1977), *Minchermet SSSR. Tsentralnyiy nauchno-issledovatel'skiy institut informatsii i tehniko-ekonomicheskikh issledovaniy chYornoy metallurgii. Ekspress-informatsiya, Seriya 2 – Вып. 4, Moskow, Ru, pp. 18-22.*

5. Revnitssev V.I., Dmitriev Yu.G. (1963), *Sb. dokl. na 4-y ezhegodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii*, Moskow, Ru, pp. 74 - 82.

6. Keller O.K., Kartyish G.S., Lubyanskiy G.D.(1977), *Ultrazvukovaya ochistka*. Leningrad, RU, 184 p.

7. Pilov P.I. (1999), *Gornyy zhurnal*,No 6, Leningrad, RU,pp. 30 - 32.

8. Dmitriev Yu.G. (1967), *Avtoreferat diss.Izuchenie nekotoryih zakonornostey protsessa ultrazvukovoy ochistki mineralov*, Sverdlovsk, RU, 35 p.

9. Klassen V.P., Nedogorov V.I., Deberdeev I.H. (1969), *Shlami vo flotatsionnom protsesse*, Moskow, Ru, 245 p.

10. Chanturiya V.A., Nazarova G.I. (1977), *Elektrohimicheskaya tehnologiya v obogatitelno-gidrometallurgicheskikh protsessah*, Moskow, Ru, 160p.

11. Chanturiya V.A., Dmitriev G.M., Trofimova E.A. (1988), *Intensifikatsiya obogascheniya rud slozhnogo veschestvennogo sostava*, Moskow, Ru, 185 p.

12. Chanturiya V.A. (1989), *Tr. IPKON Novyye protsessyi v kombinirovannyih shemah obogascheniya poleznyih iskopaemyih*, Moskow, Ru, pp. 119-127.

13. Gzgoyan T.N. (2000), *Razvitiye idey I.N. Plaksina v oblasti obogascheniya poleznyih iskopaemyih i gidrometallurgii: Tezisy dokl. yubil. Plaksinskie chteniya*, Moskow, Ru, p. 25.

14. Gzgoyan T.N. (2002), *Fiziko-tehnicheskyye problemy razrabotki poleznyih iskopaemyih.* – No 2, Moskow, Ru, pp. – 98 – 113.

15. Meyer K. (1984), *Fiziko-himicheskaya kristallografiya*, Moskow, Ru, 161p.

ОЧИЩЕННЯ ПОВЕРХНІ МІНЕРАЛЬНИХ ЗЕРЕН ВІД ШЛАМІСТИХ ЧАСТОК УЛЬТРАЗВУКОВИМИ ТА ЕЛЕКТРОХІМІЧНИМИ СПОСОБАМИ

Губіна В.Г., канд. геол.-мін. н , ст. н. с., пр. наук. сп., ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», gvg131619@gmail.com

Равінська В.О., ПрАТ «Полтавський ГЗК», начальник випробувального центру , vita.ravinskaya@mine.ferrexpo.com

Губін Г.Г., канд. техн. наук, доцент, Криворізький національний університет, gennadiy.gubin@gmail.com

Метою роботи є встановлення впливу електрохімічної обробки пульпи і високоенергетичного ультразвуку у кавітаційному режимі на дезінтеграцію техногенних агрегатів і флокул при магнітно-флотаційному збагаченні магнетитових кварцитів.

На відміну від наявних положень про утворення техногенних агрегатів в операціях тонкого подрібнення руд, встановлено, що застосування вертикальних млинів призводить до зворотного явища – часткового відтирання поверхні мінералів від сторонніх нашарувань внаслідок заміни в цих млинах ударних навантажень стираючими тангенціальними силами руйнування, що дозволяє розробити технологію переробки пінних продуктів, які отримуються в процесі флотаційного доведення магнетитових концентратів.

Уперше для дезінтеграції рудних флокулоутворень та техногенних зростків перед флотаційним збагаченням розроблено метод попереднього оброблення залізородної пульпи, який засновано на виникненні кавітаційних процесів у повітряній бульбашці за допомогою динамічних ефектів високоенергетичного ультразвуку, що дозволяє збільшити ефективність очищення від шламових частинок поверхонь мінералів живлення флотації концентратів магнітної сепарації у 1,8 рази. Дослідження процесів утворення техногенних агрегатів та їх обробка високоенергетичним ультразвуком дозволяє поліпшити техніко-економічні показники флотаційного доведення магнетитових концентратів при збагаченні досить тонковкратплених залізистих кварцитів, а також знизити K_2O і Na_2O у готовому продукті. Останнє дуже важливо, тому що калій і натрій знижують міцність окатишів при низькотемпературному відновленні їх у доменних печах, що призводить до збільшення витрат коксу і зниження продуктивності печей. Встановлено, що електрохімічна і ультразвукова обробка пульпи при

збагаченні магнетитових кварцитів призводить до підвищення якісно-кількісних технологічних показників процесу і отримання більш високоякісного концентрату.

Ключові слова: залізисті кварцити, електрохімічна і ультразвукова обробка пульпи, техногенні агрегати, очищення поверхні мінеральних часток.

CLEANING OF THE SURFACE OF MINERAL GRAINS FROM SLUDGE PARTICLES WITH ULTRASONIC AND ELECTROCHEMICAL METHODS

V. Gubina Ph. D. (Geol.-Min.), Senior Research Fellow, Leading Researcher State Institution "Institute of Environment Geochemistry of the NAS of Ukraine", gvg131619@gmail.com

V. Ravinska Head of Test Centre, FERREXPO Poltava Mining, vita.ravinskaya@mine.ferrexpo.com

G. Gubin Ph. D. (Techn.), docent, Krivoy Rog National University, gennadiy.gubin@gmail.com

The aim of the work is to establish the effect of the electrochemical processing of pulp and high-energy ultrasound in the cavitation mode on the disintegration of man-made aggregates and flocs during the magnetic-flotation enrichment of magnetite quartzites.

In contrast to the existing provisions on the formation of technogenic joints in the application of fine grinding of ores, it was found that the use of vertical mills leads to an opposite phenomenon - partial scrubbing of the surface of minerals from foreign layers due to the replacement of shock loads in these mills erasing tangential forces of destruction, that allows us to develop a technology for the processing of froth products obtained in the process of flotation finishing of magnetite concentrates.

Before the flotation enrichment, a method for treating iron ore pulps was developed for disintegrating ore flocculation and technogenic joints. This is based on the occurrence of cavitation processes with air bubbles using the dynamic effects of high-energy ultrasound. This improves the cleaning efficiency of sludge particles in the composition of minerals in flotation and magnetic emissions by a factor 1.8.

The study of the technogenic joints formation processes and the treatment of them with high-energy ultrasound can improve the technical and economic indicators of the flotation finishing of magnetite concentrates with the enrichment of very fine disseminated ferruginous quartzites, while also reducing K_2O and Na_2O in the finished product. The latter is very important, because potassium and sodium reduce the strength of the pellets at low-temperature recovery in blast furnaces, which leads to an increase in coke consumption and reduced productivity of the furnaces.

It is found that electrochemical and ultrasonic treatment of pulps with the enrichment of magnetite quartzites leads to an increase in the qualitative and quantitative indicators of the process and receiving of a high-quality concentrate.

Key words: ferruginous quartzites, electrochemical and ultrasound pulp processing, technogenic joints, cleaning the surface of mineral particles