
ПОЛУЧЕНИЕ И ОБРАБОТКА РАСПЛАВОВ

УДК 622.7

Г. В. Губин, д-р техн. наук, проф.

В. В. Лотоус*, председатель Правления

В. О. Равинская*, нач. испыт. центра, e-mail: vita.ravinskaya@gmail.com

Криворожский национальный технический университет, Кривой Рог, Днепропетровская обл.

*ЧАО «Полтавский горно-обогатительный комбинат», Горишние Плавни, Полтавская обл.

К ВОПРОСУ ОБ ОБРАЗОВАНИИ ТЕХНОГЕННЫХ СРОСТКОВ

Повышение качества концентратов осложняется такими явлениями как магнитная флокуляция и образование техногенных сростков. Последнее имеет место в процессе измельчения, в гидродинамических потоках классифицирующих и обогатительных аппаратов, в магнитных полях сепараторов. В статье рассмотрен механизм образования техногенных сростков и намечены пути их разрушения.

Ключевые слова: концентрат, техногенные сростки, измельчение, магнитные поля, флокуляция, электрохимическая обработка, ультразвуковое воздействие.

Підвищення якості концентратів ускладнюється такими явищами як магнітна флокуляція і утворення техногенних зростків. Останнє має місце в процесі подрібнення, в гідродинамічних потоках класифікуючих та збагачувальних апаратів, в магнітних полях сепараторів. У статті розглянуто механізм утворення техногенних зростків і намічені шляхи їх руйнування.

Ключові слова: концентрат, техногенні зростки, подрібнення, магнітні поля, флокуляція, електрохімічна обробка, ультразвуковий вплив.

Improving the quality of concentrates is complicated by such phenomena as magnetic flocculation and the formation of technogenic clusters. The latter takes place in the process of grinding, in the hydrodynamic flows of the classifying and concentrating devices, in the magnetic fields of the separators. The article considers the mechanism of formation of aggregation of minerals and outlines ways of their destruction.

Keywords: concentrate, technogenic mineral aggregates, grinding, magnetic fields, flocculation, electrochemical treatment, ultrasonic action.

Повышение качества железорудного концентрата и окученного 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 разделения частиц в магнит-

ных сепараторах не удается получать чистые зерна 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 зерна минералов. Одной из причин этого является загрязнение поверхности раскрываемых минералов шламистыми частицами, то есть образование техногенных сростков [1, 2, 3].

В ряде научных исследований показано, что поверхность крупных зерен 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 зерен 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 зерен достаточна, чтобы существенно ухудшить качество продуктов разделения, а также изменить их технологические свойства.

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 «пленочных», механизм образования которых связан, в основном, с наличием на поверхности частиц ионно-электростатических и молекулярных силовых полей. О необходимости учета при анализе этого явления физико-химических свойств минералов и жидкой фазы пульпы говорится в [4].

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) [5].

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. Среди различных способов воздействия на пульпу (с целью изменения электрохимических свойств поверхности минералов) является электрохимическая обработка (ЭХО) [6].

Экспериментальные исследования с частицами минералов железосодержащих руд выявили один из механизмов интенсификации процесса магнитной сепарации при использовании ЭХО [7]. Он обусловлен растворением гидрооксидной пленки на поверхности минералов, а также восстановлением трехвалентного 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 перед измельчением в барабанной мельнице положительно влияет на показатели последующей магнитной сепарации [8].

Согласно физической теории взаимодействия частиц в жидких фазах, общая энергия взаимодействия двух частиц W_T представляет собой сумму энергий взаимодействия двойных электрических слоев 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.

Проведенные авторами 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, жесткости в жидкой фазе пульпы, снижаясь с повышением жесткости оборотной технической воды (табл. 1).

Таблица 1

Электрокинетический потенциал поверхности минералов в воде с различной степенью минерализации, мВ

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

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

Катодная обработка кратковременно повышает значение дзетапотенциала 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 обогащительных сепараторах.

Исследования налипания тонкодисперсных частиц на поверхности сравнительно крупных зерен 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 – $98,2 \pm 0,04$, магнетита – $98,1 \pm 0,03\%$.

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).

Катодная обработка в мельнице уменьшает степень загрязнения кварца на $31,1-37,3\%$, а также снижает прочность загрязнения магнетитовых и гематитовых частиц на кварцевых зёрнах.

Ультразвуковая обработка (УЗО) 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 зерен 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 зерен 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 зерен 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.

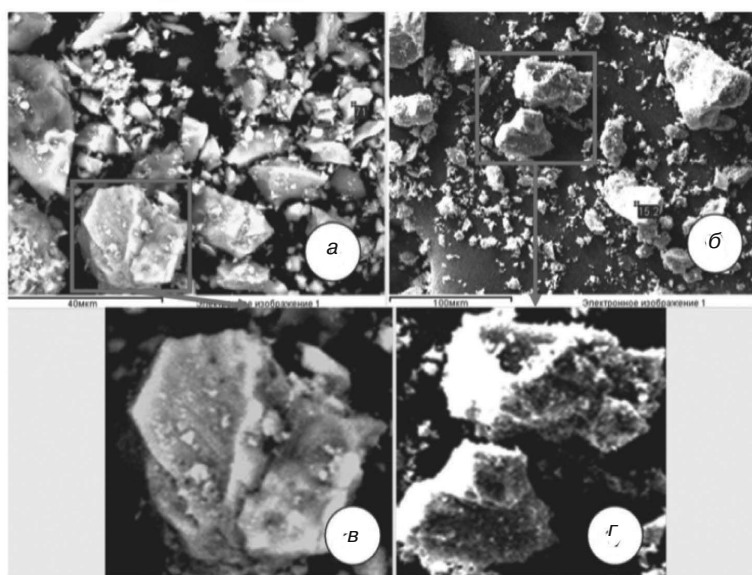
Различие в силе закрепления дисперсных частиц магнетита и гематита на кварце и их количество с использованием ЭХО объясняется следующим образом. Величи-

Таблица 2

Массовая доля SiO_2 и $\text{Fe}_{\text{общ}}$ на крупных зернах 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 + 0,04 мм массовая доля SiO ₂	0,52 ± 0,1	
Гематит – 0,1 + 0,04 мм 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



Электронные фотографии проб продукта питания флотации: а – без УЗО; б – после УЗО; в, г – частица кварца в материале до и после УЗО

ны молекулярных сил притяжения при соприкосновении кристаллических решеток кварца и гематита выше вследствие подобия геометрий и периодов их кристаллических решеток и образования при измельчении ряда плоскостей с одномерным и двумерным геометрическим подобием [9]. Магнетит по геометрии и параметрам кристаллической решетки 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 все 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 [10].

Однако даже после оттирки в вертикальной мельнице в последующих за измельчением операциях тонкоизмельченный 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 электроскопические снимки материала проб питания флотации Полтавского ГОКа до и после обработки ультразвуком.

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

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 // Вісник Криворізького технічного університету. – 2005. – № 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 чёрных 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. Пилов П. И. Повышение качества магнетитовых концентратов путем механической обработки // Горный журнал. – 199. – № 6. – С. 30–32.
5. Классен В. П., Недогоров В. И., Дебердеев И. Х. Шламы во флотационном процессе. – М.: Недра, 1969. – 245 с.
6. Чантурия В. А., Назарова Г. И. Электрохимическая технология в обогачительно-гидрометаллургических процессах. – М.: Наука, 1977. – 160 с.
7. Гзгоян Т. Н. К вопросу применения физических полей для руд Михайловского ГОКа // Развитие идей И. Н. Пласина в области обогащения полезных ископаемых и гидрометаллургии: Тез. докл. юбил. Плакс. чтений. – М.: 2000.

8. Гзгоян Т. Н. Опыт применения энергетических воздействий при рудоподготовке и обогащении железистых кварцитов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2002. – № 2. – С. 98–113.
9. Мейер К. Физико-химическая кристаллография. – М.: Недра, 1984. – 161 с.
10. Пилов П. И. Повышение качества магнетитовых концентратов путем их механической обработки // Горный журнал. – 1999. – № 6. – С. 30–32.



References

1. Gubin, G. V., Tkach, V. V., Orel, T. V., Plotnikov, V. V. (2005) Osobennosti zagryazneniya poverkhnosti mineralov v protsesse izmelcheniya [*Features of surface contamination of minerals in the process of grinding*]. Visnik Krivorizkogo tekhnichnogo universitetu, no. 7, pp. 77–82 [in Russian].
2. Kovalchuk, Kh. U., Pedan, M. V., Gots, A. Ya., Sverdlova, L. V. (1981) Vliyanie mineralnogo sostava nerudnoy sredy zhelezistykh kvartситов i stepeni mineralizatsii vody na kachestvo kontsentratov [*Influence of the mineral composition of the non-metallic medium of ferruginous quartzites and the degree of mineralization of water on the quality of concentrates*]. Obogashchenie rud chernykh metallov. Moscow: Nedra, Vyp. 10, pp. 55–66 [in Russian].
3. Gritsay, Yu. L., Pedan, M. V., Gerasimova, Z. F., Bezverkhnyaya, I. P. (1980) Issledovanie po zakrepleniyu dispersnykh rudnykh mineralov na poverkhnosti kvartsa pri izmelchenii zhelezistykh kvartситов [*Investigation of the fixation of dispersed ore minerals on the surface of quartz during the grinding of ferruginous quartzites*]. Obogashchenie rud chernykh metallov. Moscow: Nedra, Vyp. 9, pp. 3–9 [in Russian].
4. Pilov, P. I. (199) Povyshenie kachestva magnetitovykh kontsentratov putem mekhanicheskoy obrabotki [*Improving the quality of magnetite concentrates by machining*]. Gornyy zhurnal, no. 6, pp. 30–32 [in Russian].
5. Klassen, V. P., Nedogorov, V. I., Deberdeev, I. Kh. (1969) Shlamy vo flotatsionnom protsesse [*Sludge in the flotation process*]. Moscow: Nedra, 245 p. [in Russian].
6. Chanturiya, V. A., Nazarova, G. I. (1977) Elektrokhimicheskaya tekhnologiya v obogatitelno-gidrometallurgicheskikh protsessakh [*Electrochemical technology in the enrichment-hydrometallurgical processes*]. Moscow: Nauka, 160 p. [in Russian].
7. Gzgoyan, T. N. (2000) K voprosu primeneniya fizicheskikh poлей dlya rud Mikhaylovskogo GOKa [*On the application of physical fields for the Mikhailovsky GOK*]. Razvitie idey I. N. Plasina v oblasti obogashcheniya poleznykh iskopaemykh i gidrometallurgii: Tez. dokl. yubil. Plaks. Chteniy [in Russian].
8. Gzgoyan, T. N. (2002) Opyt primeneniya energeticheskikh vozdeystviy pri rudopodgotovke i obogashchenii zhelezistykh kvartситов [*Experience in the application of energy impacts during ore preparation and enrichment of ferruginous quartzites*]. Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh, no. 2, pp. 98–113 [in Russian].
9. Meyer, K. (1984) Fiziko-khimicheskaya kristallografiya [*Physicochemical crystallography*]. Moscow: Nedra, 161 p. [in Russian].
10. Pilov, P. I. (1999) Povyshenie kachestva magnetitovykh kontsentratov putem ikh mekhanicheskoy obrabotki [*Improving the quality of magnetite concentrates by machining them*]. Gornyy zhurnal, no. 6, pp. 30–32 [in Russian].

Поступила 03.04.2018